

Tiia Peltola

Lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmien hybridiratkaisut

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Automaatiotekniikka

Insinöörityö

10.11.2014

Tekijä(t) Otsikko Sivumäärä Aika	Tiia Peltola Lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmien hybridiratkaisut 39 sivua + 5 liitettä 10.11.2014
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Automaatiotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Energia-automaatio
Ohjaaja(t)	Suunnittelupäällikkö Maija Wallenius Projektipäällikkö Jussi Alilehto Lehtori Heikki Saarelainen
<p>Tässä insinöörityössä selvitetään ja perehdytään siihen, mitä ovat hybridilämmitys- ja jäähdytysjärjestelmät. Työssä käsitellään, mitä osia järjestelmät sisältävät ja mistä kaikista lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmät koostuvat. Insinöörityön keskiössä on koota yhteen tietoutta hybridijärjestelmistä sekä siitä, minkälaisia ratkaisuja on jo olemassa. Esimerkkikohteiden avulla perehdytään tarkemmin erilaisiin hybridiratkaisuihin erilaisissa kiinteistöissä.</p> <p>Hybridiratkaisujen mahdollisuuksia ja etuja pohditaan tulevaisuuden sekä ekologisuuden kannalta. Hybridijärjestelmiä verrataan perinteisempiin lämmitysratkaisuihin lähinnä energiankulutuksen ja eri osa-alueista koostuvien kustannusten näkökulmasta.</p> <p>Tämä insinöörityö tehtiin Sweco Talotekniikka Oy:lle, joka tarjoaa suunnittelu- ja konsultointipalveluja muun muassa LVI-, sähkö-, RAU- ja energia-asioissa. Insinöörityön yhtenä päätarkoituksena oli suunnitella hybridilämmityksen ja jäähdytyksen kytkentäkaavio, mutta täysin sopivaa projektia ei insinöörityön aikataulun puitteissa sittenkään tullut toteutukseen. Siinä mielessä kuitenkin tavoitteet saavutettiin, että työn aikana syntyi lämmityksen ja jäähdytyksen kytkentäkaavio. Positiivisena asiana voidaan pitää sitä, että valittu lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmä edistää samoja tavoitteita hybridijärjestelmien kanssa eli uusiutuvien energianlähteiden käyttöä lämmitykseen ja jäähdytykseen.</p>	
Avainsanat	hybridijärjestelmä, rakennusautomaatio, energiatehokkuus, uusiutuvat energianlähteet

Author(s) Title Number of Pages Date	Tiia Peltola Hybrid Heating and Cooling Solutions 39 pages + 5 appendices 10 November 2014
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Automation Engineering
Specialisation option	Energy Automation
Instructor(s)	Maija Wallenius, Design Manager Jussi Alilehto, Project Manager Heikki Saarelainen, Principal Lecturer
<p>The objective of this Bachelor's thesis is to get acquainted with and examine hybrid heating and cooling systems and what kind of components they consist of. One of the fundamental goals of this study is to summarize the current knowledge about hybrid solutions. It is likewise essential to examine what kind of hybrid systems already exist. Using a couple of example targets, an analysis is made of different kind of hybrid systems.</p> <p>The possibilities and advantages of hybrid systems are considered from the future and ecological point of view. Hybrid heating and cooling systems are compared with more traditional heating systems from the aspects of energy consumption and various expenditures.</p> <p>The study was assigned by Sweco Talotekniikka Oy which provides design and consultancy services in HVAC, electricity, building automation and energy sector. One of the main objectives of the thesis was to plan a distribution diagram for hybrid heating and cooling. This was, however, impossible because no perfectly suitable project could be found within the schedule of this Bachelor's thesis.</p> <p>In conclusion, a similar project was found and the distribution diagram for heating and cooling was made. The buildings of the project in question use geothermal heating and cooling as well which goes with the ambition that is also behind the hybrid systems: the increased utilization of renewable energy.</p>	
Keywords	hybrid heating system, building automation, energy efficiency, renewable energy

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Automaatiojärjestelmä	2
2.1	Toiminta	2
2.2	Käyttöliittymä ja järjestelmän hallinta	3
2.3	Optimointi ja energiansäästö	4
2.4	Hälytykset ja valvonta	7
2.5	Tiedonkeruu ja raportointi	8
3	Sisäilmaolosuhteet ja sisärakentamiseen liittyvät standardit	10
3.1	Yleistä sisäilmaolosuhteista	10
3.2	Standardit ja määräykset	10
3.2.1	Suomen rakentamismääräyskokoelma	10
3.2.2	Tietokortistot	11
3.3	Lämmin käyttövesi	11
4	Lämmitysjärjestelmät	11
4.1	Lämmitysjärjestelmistä	11
4.2	Kaukolämpö	12
4.3	Sähkölämmitys	13
4.3.1	Yleisesti	13
4.3.2	Ilmalämpöpumppu	13
4.3.3	Maalämpö	14
4.3.4	Ilma-vesilämpöpumppu	14
4.3.5	Poistoilmalämpöpumppu	15
4.3.6	Ilmanvaihtokoneiden lämmöntalteenotto	16
4.3.7	Hybridilämpöpumppu	17
4.4	Öljylämmitys	18
4.5	Maakaasulämmitys	19
4.6	Puuperäiset lämmitysjärjestelmät	19
4.7	Aurinkolämmitys	20
5	Jäähdytysjärjestelmät: Jäähdytysenergian tuotanto	20
5.1	Kaukojäähdytys	20

5.2	Koneellinen jäähdytys	21
5.3	Maajäähdytys	21
5.4	Meri-, järvi- ja jokijäähdytys	21
6	Jäähdytysjärjestelmät: Jäähdytysenergian jakelu	22
6.1	Tuloilma	22
6.2	Suutin- ja puhallinkonvektorit	23
6.3	Säteilijät	23
7	Hybridijärjestelmät	24
7.1	Hybrideistä	24
7.2	Pientalot	25
7.3	Suuremmat rakennukset	25
7.4	Esimerkkiratkaisuja suuremmista hybridikohteista	28
7.4.1	Suomen luontokeskus Haltia	28
7.4.2	Otaniemen tiedeasunnot (Tutkijahotelli)	29
7.4.3	Nollaenergiatalo Järvenpää	29
7.4.4	Espoon kaupungin hankkeet	31
7.4.5	Teivon ABC-liikenneasema ja Turun kaupunginteatteri -hanke	31
7.4.6	Yleisesti esimerkkikohteista	31
7.5	Hybridien haasteet	32
8	Otaniemen tiedeasunnot: Hybridi lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmä	32
9	Hanko, Tehtaanniemen asunnot eli Regatta Suites	33
9.1	Lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmän ratkaisut	34
9.2	Projekti elää	35
10	Yhteenveto	36
	Lähteet	37
	Liitteet	
	Liite 1. Järvenpään Mestariasuntojen Nollaenergiatalon kulutus- ja tuottotaulukko	
	Liite 2. Energiakortti Suurpellon päiväkotia	
	Liite 3. Energiakortti Espoonlahden koulu ja lukio	
	Liite 4. Otaniemen tiedeasuntojen lämmityksen ja jäähdytyksen säätökaavio	
	Liite 5. Regatta Suites lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmän kytkentäkaavio	

1 Johdanto

Sweco Talotekniikka Oy

Sweco Talotekniikka Oy on osa Sweco Finlandia. Sweco Talotekniikka toimi vuodesta 1994 asti nimellä Airix Talotekniikka Oy. Swecon ostettua FMC Groupin toiminnot, johon Airix silloin kuului, Airix muutti nimensä yhtenäistämisen myötä 1.2.2014 Sweco Talotekniikka Oy:ksi. Sweco tuottaa asiakkailleen konsultointia ja projektiratkaisuja ollen Pohjoismaiden johtava rakentamisen asiantuntijayritys. Sweco Talotekniikalla on toimistoja kahdeksalla eri paikkakunnalla ja henkilöstöä on noin 180. Sweco Talotekniikan Espoon yksikössä työskentelee tällä hetkellä noin 70 henkilöä LVI:n, sähkön ja elinkaaripalvelujen kuten RAU, talotekniikkapalvelut sekä energia, elinkaari ja ympäristö parissa.

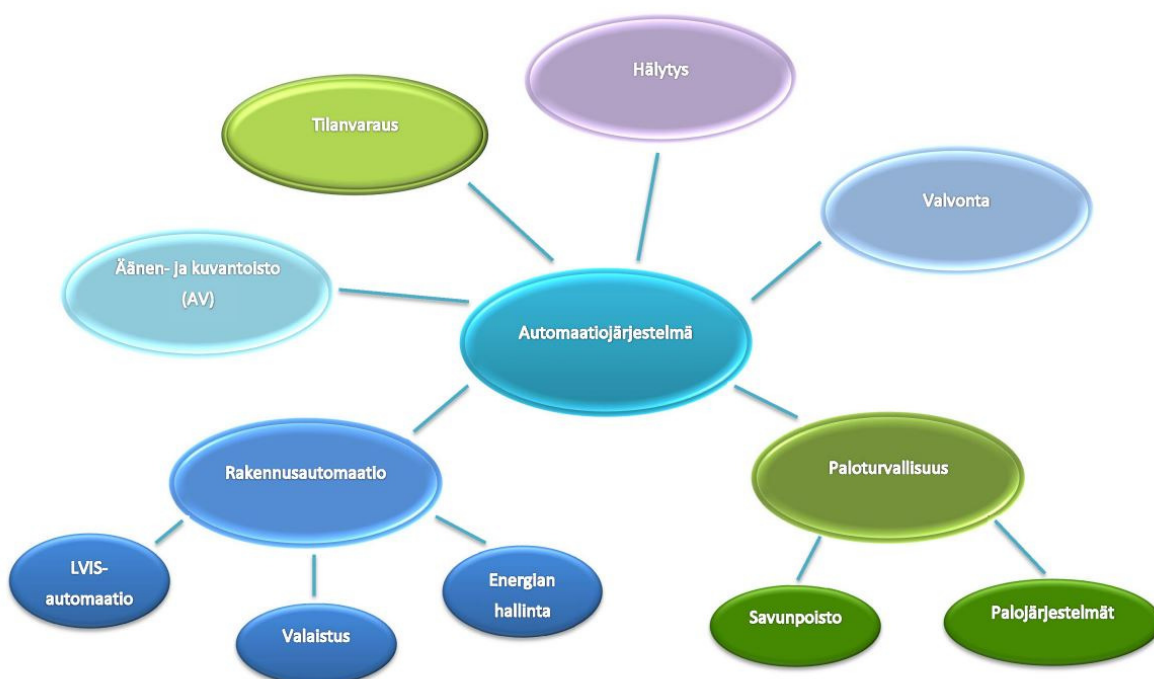
Tämän insinööriyön tarkoituksena on selvittää, mitä ovat hybridilämmitys- ja jäähdytysratkaisut sekä selvittää, mistä kaikista ne koostuvat. Insinööriyön keskiössä on myös kysymys siitä, minkälaisia ratkaisuja on olemassa ja mitkä ovat niiden mahdollisuudet sekä edut. Lyhyesti verrataan hybridilämpöratkaisuja perinteisempiin lämmitysratkaisuihin sivuten hieman niin energiankulutusta kuin kustannuksiakin. Työn edetessä perehdytään tarkemmin monipuolisiin hybridiratkaisuihin ja suunnitellaan jonkin projektin yhteydessä lämmönjakokaavio.

Tarkoituksena on, että tämän insinööriyön jälkeen työn tekijällä on hyvä käsitys hybridiratkaisusta ja että tekijä pystyy jatkossa suunnittelemaan hybridilämmönjakokaavioita itsenäisesti. Tämän työn tavoitteena on myös koota yhteen kohtalaisen kattava tietopaketti hybridijärjestelmistä. Hybridijäähdytys- ja lämmitysjärjestelmän energiatehokkuuden hallintaan ja optimointiin pureudutaan automaation näkökulmasta.

2 Automaatiojärjestelmä

2.1 Toiminta

Talotekniikassa termi *automaatiojärjestelmä* (kuva 1) voi pitää sisällään rakennusten lämmitys-, jäähdytys-, ilmanvaihto-, valaistus-, hälytys- ja valvontajärjestelmät. Rakennusautomaatiojärjestelmä kattaa perinteisesti lämmityksen-, jäähdytyksen- ja ilmanvaihdon automaation sekä valaistuksen ja rakennuksen energian hallinnan. Paloturvallisuuden ja savunpoiston tilatiedot kuuluvat myös tyypillisesti rakennusautomaation liitännöihin. Edellä mainittujen lisäksi rakennusautomaation yhteydessä voivat olla AV-, kulunvalvonta- ja muut hälytysjärjestelmät. Pääasiassa rakennusautomaatiolla pyritään muokkaamaan sisäilmasto-olosuhteita eli lisäämään viihtyvyyttä ja vähentämään energiankulutusta, kuitenkin viihtyvyydestä tinkimättä. Muut automaatiojärjestelmän osat pyrkivät lisäämään käyttömukavuutta ja käytettävyyttä sekä turvallisuutta.

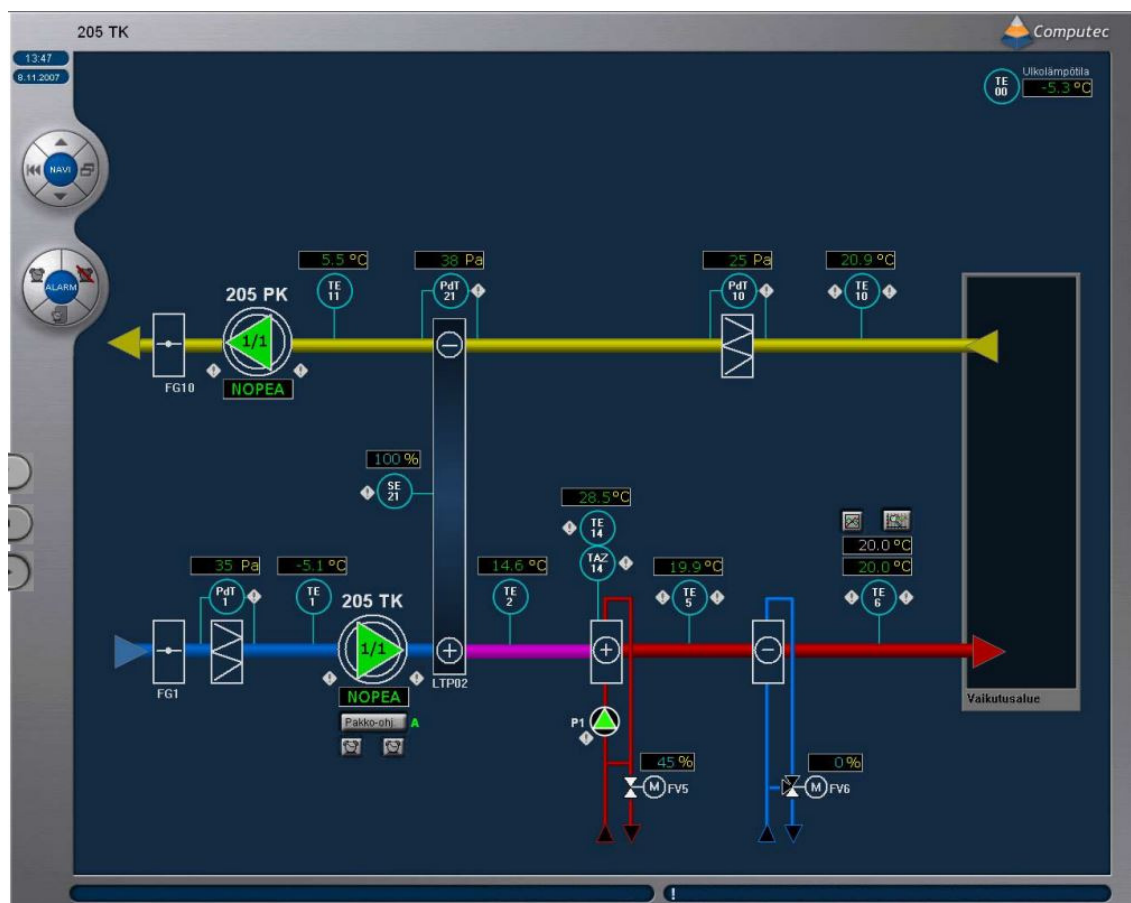


Kuva 1. Automaatiojärjestelmään liittyvät järjestelmät, yksinkertaistettu kaavio.

2.2 Käyttöliittymä ja järjestelmän hallinta

Hallinnan kannalta olisi optimaalista, jos rakennusautomaatiojärjestelmä sisältäisi kaikki ne järjestelmät, joita kiinteistössä tarvitsee ohjata ja seurata. Rakennusautomaatiojärjestelmän tiedon määrä voi olla hyvinkin suuri ja hallintaan voidaan vaikuttaa useammalla eri tasolla, kuten vaikkapa kiinteistö-, kerros- tai huonetasolla. Edellä mainitun takia käyttöliittymän tulee olla joka tasolla looginen, yhtenäinen ja helppokäyttöinen. [1; 2, s. 155–157; 3, s. 15]

Käyttöliittymän tarkoitus on esittää käyttäjälle tarpeellista tietoa kiinteistön olosuhteista, tapahtumista ja prosessien tilasta. Kaikki tämä tulisi olla helposti omaksuttavassa muodossa. Hyvää käyttöliittymää oppii käyttämään helposti sekä nopeasti ja sen käyttäminen on mielekästä. Kuvassa 2 on esitettynä tuloilmakoneen 205 TK käyttöliittymä. [1; 2, s. 155–157; 3, s. 15]



Kuva 2. Tuloilmakoneen 205 TK käyttöliittymä. [3, cd]

Käyttöliittymän olisi hyvä olla sellainen, että se toimii myös etäyhteydellä ilman mitään erillisiä ohjelmia. Etäyhteys helpottaa huomattavasti myös laitteiden käyttöönottoa ja päivityksiä, kun voidaan mennä suoraan laitteiden läheisyyteen, eikä tarvitse operoida eri tiloista, useimmiten myös aivan eri kerroksesta. [2, s. 101]

Edellisissä kappaleissa käyttöliittymällä on tarkoitettu ohjelmallista käyttöliittymää. Käyttöliittymällä voidaan kuitenkin tarkoittaa myös esimerkiksi tilassa olevia säätömahdollisuuksia, kuten painikkeita tai ohjauspaneeleja eli niin sanottuja tilakohtaisia käyttöliittymiä. Tilakohtaisien käyttöliittymien (kuva 3) toiminnot ovat yleensä kyseistä tilaa koskevia ja varsin yksinkertaisia. Vaikka tilakohtaiset käyttöliittymät useimmiten ovat kohtalaisen yksiselitteisiä, olisi niiden käyttöohjeiden syytä löytyä tilasta. [3, s. 17–18]



Kuva 3. Tilakohtainen käyttöliittymä, jossa on lämpötilan säätö, puhaltimen nopeus ja lämmitys- tai jäähdytyskäyttövaihtoehto.

2.3 Optimointi ja energiansäästö

Mahdollisimman pieneen energiankulutukseen päästään, kun kiinteistön talotekniikan toimintaa valvotaan ja ohjataan rakennusautomaatiojärjestelmällä ja samalla silti saavutetaan tavoitellut olosuhteet. Edellytyksenä tälle on, että talotekniikan säädössä, ohjaamisessa ja valvonnassa hyödynnetään mahdollisimman tehokkaasti rakennusautomaatiojärjestelmän ominaisuuksia. [2, s. 223]

Tapoja energiankulutuksen vähentämiseen ja hallintaan ovat esimerkiksi aikaohjaukset, mittausseuranta ja optimoidut säädöt. Aikaohjauksilla pystytään ohjaamaan laitteet käymään silloin, kun tiloja käytetään. Esimerkiksi kouluilla ja päiväkodeilla ei yleensä ole viikonloppuisin toimintaa, jolloin laitteiden on turha käydä silloin muuten kuin minimiteholla vähimmäisilmanvaihdon varmistamiseksi. Mittausseurannalla päästään vielä optimoidumpaan ja tarkempaan tilojen hallintaan. Riittävällä mittauksilla pystytään seuraamaan toimivatko prosessit niin kuin niiden olisi tarkoitus ja milloin prosessissa ilmenee jokin ongelma. [2, s. 226–232]

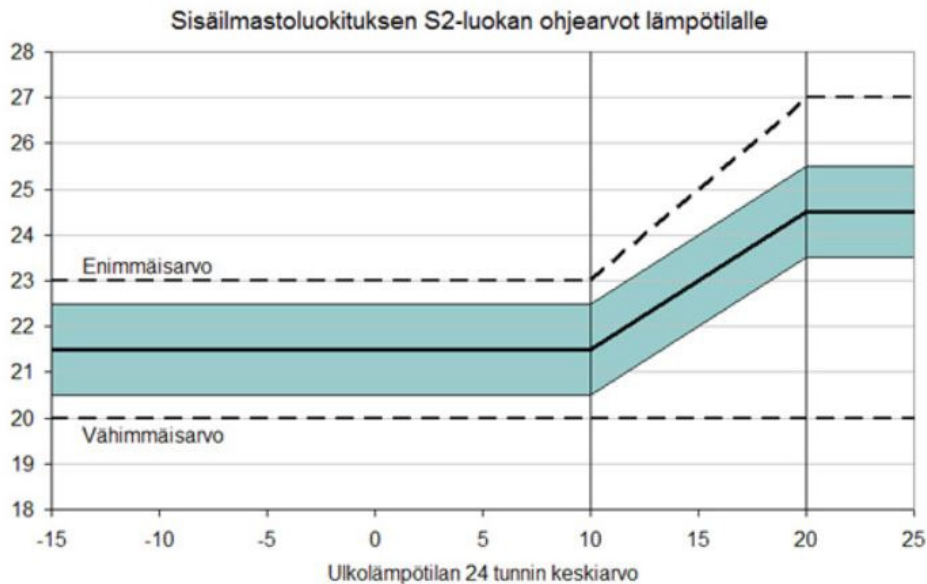
Rakennusautomaatiojärjestelmissä on myös paljon ominaisuuksia, joita kannattaa hyödyntää tehokkaasti, jotta saadaan energiansäästöä aikaiseksi. Tällaisia ominaisuuksia ovat muun muassa tarpeenmukaiset ohjaukset ja energiansäästöohjelmat. [2, s. 233–240]

Tilojen käyttöasteen ollessa ajoittaista tai viikoittain vaihtelevaa, tilojen ohjaamisessa mielekkäin vaihtoehto on läsnäolo, ajastin tai ilmanlaatuun perustuva ohjaus. Jäähdytyskäytössä tiloissa olisi hyvä olla läsnäolo-ohjaus kesäaikaisten tilojen käyttämättömyyksien takia, jolloin huoneiden lämpötilojen ei tarvitse päästä normaalikäyttölämpötiloihin. Läsnäoloon perustuva ohjaus toimii myös tilojen valaistuksen, ilmanvaihdon ja lämpötilan suhteen. [2, s. 233]

Taloteknisiä laitteita voidaan ohjata rakennusautomaatiojärjestelmän mittausten perusteella tehokkaasti ja kätevästi. Useita laitteita ja toimintoja voidaan ohjata mittaustietojen perusteella. Tällaisia ovat muun muassa tuulikaappien kiertoilmakoneet, teknisten tilojen jäähdytyspuhaltimet ja rakennusten alapohjien tuuletus. Lisäksi valaistusta voidaan hallita paremmin valoisuusanturin kuin hämäräkytkimen avulla. Valoisuusanturin avulla voidaan määritellä ohjelmallisesti tietyt sytytys- ja sammutustasot eri valaistusrhymille. [2, s. 236]

Erilaisista energiansäästöohjelmista yleisimmin käytössä ovat tarpeenmukainen ohjaus, yöjäähdytys, vapaajäähdytys, erilaiset optimointiohjelmat, lukitusohjelmat, jäähdytysenergian talteenotto ja ulkoa tulevan lämpösäteilyn hallinta. Tarpeenmukaisessa ohjauksessa pyritään ottamaan huomioon tilojen todellinen käyttöaste, säädettäessä tilojen olosuhteita. Jäähdytystilanteessa lämpötilan asetusarvo voi olla korkeampi kuin lämmitystilanteessa ja lämpötila voi poiketa asetusarvosta, kun tila ei ole käytössä. Kuvassa 4 on esitetty sisäilmastoluokituksen S2-luokan mukaiset ohjearvot sisäläm-

pötilalle ulkolämpötilan keskiarvon mukaan. Ilmanvaihto toimii myös läsnäolon perusteella, eli kun huoneessa ei oleskella, saa ilmanlaatu heikentyä. [2, s. 237–239]



Kuva 4. S2-luokan sisäilmastoluokituksen ohjearvot. Luokka S2 edustaa hyvää sisäilmaa. [4]

Ilmanvaihdon yöjäähdytys käyttää yleensä kesällä ulkoilmaa aamuyön tunteina rakennuksen rakenteiden jäähdyttämiseen ulkolämpötilan niin salliessa. Vapaajäähdytystä käytetään normaalin jäähdytyskauden ulkopuolella esimerkiksi teknisten tilojen jäähdyttämiseen. Jäähdytysenergian talteenottoa kannattaa käyttää välikausina, jolloin ilmanvaihdoissa tarvitaan samanaikaisesti sekä lämmitystä että jäähdytystä. [2, s. 237–238]

Optimointiohjelmilla voidaan esimerkiksi päästää yöajaksi olosuhteet viihtyvyysalueen ulkopuolelle ja aamulla ennen käyttöaikaa taas ajetaan olosuhteet tavoitearvojen mukaisiksi. Ulkoa tulevaa lämpösäteilyä pyritään rajoittamaan säleiköillä tai markiiseilla, jotka toimivat kun lämpösäteilyä on liikaa. Markiisien ja säleikköjen toiminta pyritään kuitenkin ohjaamaan niin, ettei valon tarve lisäännä liikaa. Lukitusohjelmilla estetään laitteita käymästä turhaan eli silloin, kun niitä ei tarvita. Esimerkiksi jäähdytyskompressorien käynti estetään, kun jäähdytystarvetta ei ole ja toisaalta tuulikaappien kiertoilmakoneet eivät käy, kun ulkolämpötila on riittävän korkea. [2, s. 238–239]

2.4 Hälytykset ja valvonta

Rakennusautomaatio ei tarvitse jatkuvaa valvomopäivystystä, vaan järjestelmä valvoo ja ohjaa itse kiinteistön laitteita sekä rekisteröi olosuhteita annettujen arvojen perusteella. Jos talotekniikka ei toimi halutusti tai asetetuista raja-arvoista poiketaan, järjestelmä lähettää hälytyksen käyttöhenkilökunnalle. Prosessien toimintaa voidaan tarkastella ennen ja jälkeen häiriön ja päätellä toiminnasta häiriön aiheuttaja. [2, s. 224]

Hälytykset priorisoidaan kiireellisyytensä perusteella, karkeasti kolmeen luokkaan: huoltohälytyksiin, kiireellisiin hälytyksiin ja hätähälytyksiin. Kiireellisiä hälytyksiä ovat kiireelliset talotekniset hälytykset kuten jäätymisvaara ja lämmitysverkostojen kierto-vesipumppujen hälytykset. Hätähälytyksiin, jotka liittyvät henkilöturvallisuuteen, kuuluvat muun muassa palo-, hissi- ja murtohälytykset. Kiireelliset- ja hätähälytykset ovat yleensä sellaisia, että ne vaativat välittömiä toimenpiteitä kellonajasta riippumatta. Huoltohälytykset puolestaan voidaan hoitaa normaaleina työaikoina, mutta niidenkään kanssa ei pidä aikailla ylimääräisen energiankulutuksen ja toiminnallisten haittojen sekä laitekulumisen minimoimiseksi. [2, s. 224–225]

Kiinteistöissä, jotka toimivat hyvin, ei yleensä normaalitilassa ole huomattavaa määrää hälytyksiä. Hälytysten suuri määrä kertoo yleensä kiinteistön heikommasta kunnosta tai huonosta huollosta. Turhat hälytykset aiheuttavat tuhlailevaa energiankulutusta ja kieltävät puutteellisesta kiinteistön huollosta. [2, s. 225]

Kiinteistön prosessigrafiikoita säännöllisesti seuraamalla saa hyvin selville, miten talotekniset laitteet toimivat ja mitkä ovat kiinteistön sisäilmaolosuhteet. Mittaushistorian trendeistä selviää kuinka prosessit ovat toimineet, nämä trendit on usein liitetty suoraan prosessikaavioihin. Trendeistä voi selvittää myös, mistä syystä jostakin prosessista on tullut hälytys. [2, s. 227–229]

Säätöjen päällekkäisyydet huomataan helposti, kun seurataan säätöjen toimintaa. Päällekkäisten säätöjen aiheuttamat virhetilanteet voivat aiheuttaa helposti suuriakin energiankulutuksen lisäyksiä. Turhaa energiankulutusta aiheuttavat myös huonosti viritetyt säädöt, jotka lyhentävät lisäksi nopeasti toimilaitteiden, kuten venttiilimoottoreiden ja säätävien peltimoottoreiden käyttöikää. Hyvä työkalu viritysten tarkastamiseksi on trendi-seuranta, josta säädön toimivuus nähdään. [2, s. 229]

Laitteiden suojaus häiriötilanteessa on helppo toteuttaa rakennusautomaatiojärjestelmän avulla. Häiriötilanne voi olla sähkökatko, kaukolämmön syöttöhäiriö, verkoston vedenpinnan lasku tai lämmitysryhmien pääpumppujen häiriötilat. Murtohälytysjärjestelmän apuna puolestaan rakennusautomaatiojärjestelmää voidaan käyttää esimerkiksi niin, että murtohälytyksen sattuessa kaikki käytävävalot syttyvät, tämä voi pelästyttää mahdolliset tunkeutujat ja herättää ympäristön huomion. Palohälytyksen tapahtuessa lukitusohjelma pysäyttää tarvittaessa IV-koneet. Sähkökatkon jälkeen puolestaan IV-koneiden käynnistysviive estää turhat jäätymiset ja jäätymishälytykset, kun IV-verkosto on lämmennyt tarpeeksi viiveen aikana. [2, s. 233–234]

2.5 Tiedonkeruu ja raportointi

Raportointia suunniteltaessa on otettava huomioon kenelle, mitä ja miten raportoidaan. Raportoinnin kohderyhmiä voi olla useampia ja kohderyhmien haluamat tiedot voivat olla huomattavan erilaisia. Esimerkiksi tilojen työntekijöiden ei tarvitse tietää millä nopeudella ilmastointikoneen puhaltimet ovat pyörineet, mikä taas kiinteistön käyttäjälle voi kertoa paljonkin. Samalla kerralla olisi hyvä liittää kaikki tarvittavat mittaus- ja ohjauspisteet tallennus- ja raportointiohjelmistoon. [2, s. 241]

Perusedellytys kiinteistön energiatehokkaaseen ylläpitoon ja käyttöön on kulutusten seuranta ja sen perusteella tehty raportointi. Jos halutaan tietää tarkemmin mihin energiaa kuluu, täytyy pääkulutuksien kuten lämmitysenergian, vedenkulutuksen ja sähköenergian lisäksi mitata myös osakulutuksia. Sähkönkulutusmittaukset voidaan jakaa esimerkiksi LVI:lle, atk-pistorasiakuormaan, valaistukseen, kiinteistösähköön ja keittiölaitekuormaan. Erikseen voidaan mitata myös EC-moottorien tai taajuusmuuttajilla ohjattujen moottoreiden sähköenergiankulutusta. Veden kulutuksen mittarointi jaetaan yleensä kylmän veden ja lämpimän käyttöveden mukaan. [2, s. 240–241]

Kuitenkaan pelkkä kulutus ei ole ainoa asia, jota seurata ja raportoida. Myös kiinteistön olosuhteet tulee ottaa huomioon raportointia tehdessä, koska pelkkä vähäinen kulutus ei kerro kuinka energiatehokas kiinteistö on. Pieneen kulutukseen päästään toki jos lämmitys, jäähdytys sekä ilmanvaihto toimivat pienellä teholla, mutta päätarkoituksena kuitenkin on pitää ilmasto-olosuhteet miellyttävinä tiloissa oleskeleville. [2, s. 241–242]

Kulutusraportit olisi hyvä tulostaa rakennusautomaatiojärjestelmästä esimerkiksi energiamittauksista (päivittäin, viikoittain, kuukausittain ja vuosittain), lämpömäärästä (mittattu kulutus, lämmitystarveluvuille normalisoitu kulutus, kaukolämpöveden jäähtyminen), sähkömääristä (päivä- ja yö sähkö) sekä vesimääristä (kulutus, vuotohälytys). Edellisen vuoden tiedot olisi hyvä pitää vertailulähtökohtana. Kuukausittain tulisi tulostaa myös vikaraportit ja olosuhderaportit. [2, s. 242, 253]

Trendillä tarkoitetaan yhden tai useamman mittauksen arvon jatkuvaa seuranta ja tallennusta. Trendiseurannan hyödyt ja havainnollisuus saadaan parhaiten kuvattua graafisen esityksen avulla. Trendejä on kahta eri tyyppiä dynaamisia ja historiatrendejä. Dynaamisella trendillä seurataan reaaliaikaisesti ohjaus- ja mittauservoja. Historiatrendit ovat ehkä havainnollisempia, koska halutut suureet ja mittaukset saadaan esitettyä käyrinä. Historiatrendien avulla saadaan myös analysoitua häiriöiden ja hälytysten syitä. [3, s. 44–49]

Trendejä ajatellen kaikki mittauspisteet pitää valita tarkkaan, jotta muodostuvista trendeistä tulisi kuvaavia. Kaikista keskeisistä mittauksista ja käyntitiloista tulisi muodostaa historiatietoja. Mittaustietojen tallennusväli tulisi olla järkevä, jottei turhaan tallennettaisi niin sanotusti ylimääräisiä tietoja. Hyviä tallennusväliaikoja ovat esimerkiksi lämpötila kerran tunnissa, mutta IV-koneen käyntitietoa tulisi tallentaa minuutin välein. [3, s. 44–49]

Raporttiohjelmat ovat käteviä työkaluja, joilla voidaan seurata toteutuvatko halutut olosuhteet kiinteistössä ja kuinka energiataloudellinen kiinteistö on. Valmiiksi ohjelmoitavia raporttityyppejä kuten hälytys-, käyntiaika-, olosuhde-, sekä energiankulutusraportit tulisi olla valmiiksi ohjelmoituina järjestelmään. Raportointiohjelman tiedot pitäisi pystyä muuntamaan helposti Excel-muotoon jatkokäsittelyä varten. [3, s. 67–69]

Järjestelmäraportit helpottavat tiedon nopeaa hakua valvontajärjestelmästä sekä rakennusautomaatiojärjestelmästä ja kiinteistön talotekniikan toiminnasta. Käyttäjä määrittää hakuehdot, joiden perusteella esimerkiksi kaikki käsikäytöllä olevat ohjaukset tulostuvat järjestelmäraporttiin. Järjestelmäraporteilla saadaan kerättyä yhteen normaalisti useammassa paikassa olevia tietoja, jolloin poikkeamat ja vikatilanteet paikallistetaan helposti. Esimerkkinä järjestelmäraportteja voivat olla käyntituntilaskennat, mittauksen keskiarvolaskennat ja kaikkien pisteiden listaus. [3, s. 67–69]

3 Sisäilmaolosuhteet ja sisärakentamiseen liittyvät standardit

3.1 Yleistä sisäilmaolosuhteista

Sisäilmaolosuhteilla tarkoitetaan kokonaisuutta, jonka sisätilojen fyysiset ja kemialliset tekijät muodostavat. Pääosin sisäilma muodostuu lämpötilaolosuhteista, ilman laadusta, kosteudesta, valaistuksesta, melusta, sähköisistä ominaisuuksista ja säteilyolosuhteista. Lämpötilaolosuhteisiin puolestaan vaikuttavat ilman lämpötila, pintojen lämpötilat ja säteilyominaisuudet, ilman liike sekä lämpötilaerot ja -vaihtelut. [5, s. 3]

3.2 Standardit ja määräykset

Rakennusautomaatiota koskevia standardeja ja määräyksiä löytyy useammasta eri lähteestä. Tärkeimmät määräykset löytyvät Suomen rakentamismääräyskokoelmassa, jonka määräykset ja ohjeet ovat ympäristöministeriön julkaisemia. Automaatiojärjestelmiä ja niiden käyttöä koskevat osittain myös LVI-laitteistoja koskevat määräykset.

Standardit eivät ole sitovia määräyksiä vaan ohjeita hyvän järjestelmän toteuttamiseksi. Standardit esittelevät yleisesti esimerkiksi kaavioissa käytettäviä piirrosmerkkejä, kotelointiluokkia, instrumentoinnin sijoittamista prosessiin sekä mittausohjeita. Määräyksiä puolestaan on esimerkiksi räjähdysvaarallisten tilojen laitteista ja kaapeloinnista.

Lisäksi määräyksiä ja ohjeita löytyy koottuna eri tietokortistoihin, kuten LVI-, ST- ja KH-kortistoihin. Kortistoista löytyvät myös alan keskeiset viranomaismääräykset ja standardit. [2, s. 15–18]

3.2.1 Suomen rakentamismääräyskokoelma

Suomen rakentamismääräyskokoelman osissa D1, D2, D3, D4 ja D5 on esitetty rakennusautomaatioon liittyviä asioita. D1 koskee kiinteistöjen vesi- ja viemärlaitteistoja, D2 rakennusten sisäilmastoa ja ilmanvaihtoa ja D3 rakennusten energiatehokkuutta. D4 keskittyy lähinnä piirrosmerkkeihin ja D5 käsittelee rakennusten energiankulutuksen ja tehontarpeen laskentaa. Lisäksi E7 liittyy ilmanvaihtolaitteistojen paloturvallisuuteen. [2, s. 16]

3.2.2 Tietokortistot

ST-kortistosta löytyvät muun muassa sähkö- ja tietoteknisiä järjestelmiä koskevia ohjeita ja mallidokumentteja. ST-kortistoa ylläpitää Sähkötieto ry. Rakennusautomaatiojärjestelmää koskevaa aineistoa ovat esimerkiksi automaatio- ja mittausjärjestelmien yleiset toimitusohjeet ja toimitusvaatimukset, ohjelmistojen dokumentointi, taajuusmuuttajakäytöt ja kiinteistöjen tiedonsiirtoväylät sekä valvomojärjestelmät. [2, s. 17–18]

LVI-kortistosta löytyy LVI-alan suunniteluun, rakentamiseen ja ylläpitoon liittyviä asioita. LVI-kortistosta vastaavat Rakennustietosäätiö ja LVI-Keskusliitto ry. KH-kortistosta puolestaan löytyvät kiinteistönhuoltoon liittyvät ohjeet ja säännökset. KH-kortisto on Rakennustietosäätiön ylläpitämä. [2, s. 16, 18]

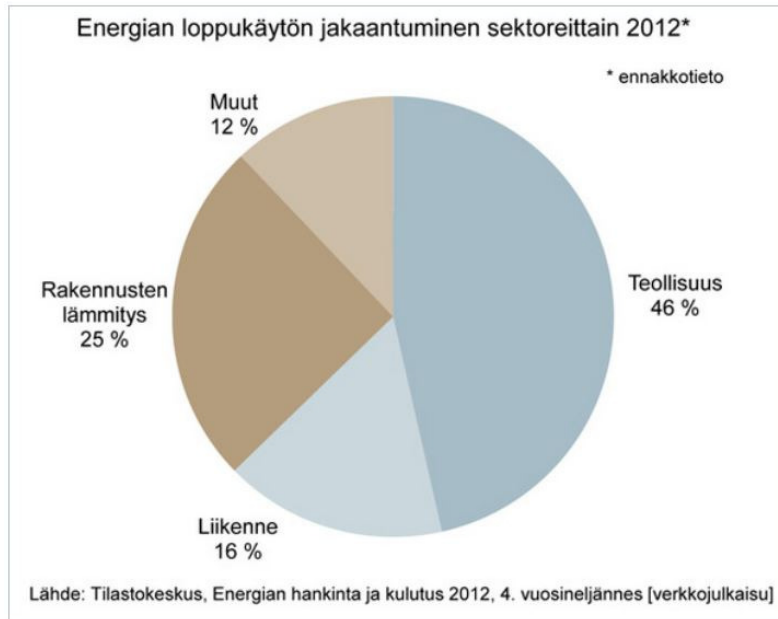
3.3 Lämmin käyttövesi

Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D1 Kiinteistöjen vesi- ja viemärlaitteistot kohdassa 2.3.8 on määräys lämpimän käyttöveden lämpötilasta. Veden lämpötilan tulee olla vähintään 55 °C kaikkialla kiertovesiputkistossa, tämä tulee ottaa huomioon suunnittelussa ja asennuksessa. Poikkeuksena ohjeistuksessa mainitaan odotusajan johdot, joissa veden lämpötila saa laskea alle 55 °C:n. 55 °C:n lämpötila käyttövesilaitteistossa takaa sen, ettei legionellabakteeri pääse lisääntymään. [6]

4 Lämmitysjärjestelmät

4.1 Lämmitysjärjestelmistä

Rakennusten lämmitysenergiankulutus on noin neljänneksen Suomen energiankäytöstä. Suomen energiankäytön jakaantumista on tarkasteltu kuvassa 5. Lämmitysjärjestelmillä ei lämmitetä pelkästään rakennusten tiloja vaan myös käyttövesi ja ilmanvaihdon tuloilma. Lämmitysjärjestelmä valitaan sen perusteella, millaisia tarpeita käyttökohteessa on. Suurimmat valintaan vaikuttavat tekijät ovat rakennuksen koko, sen käyttötarkoitus, sijainti sekä energiantarve. [7, s. 5]



Kuva 5. Lämmityksen osuus energian kulutuksesta vuonna 2012. [8]

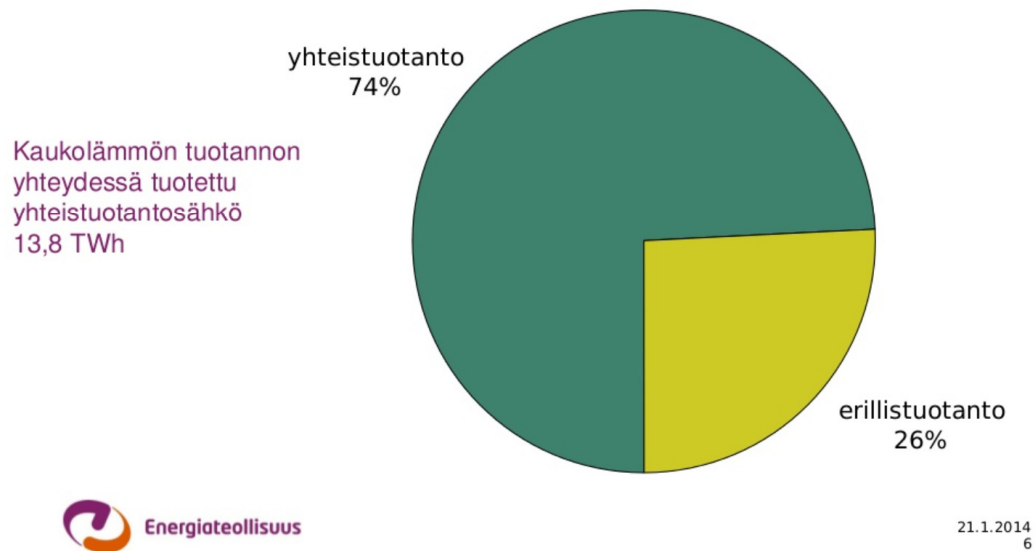
Seuraavissa luvuissa on käsitelty pääasiallisia lämmitysjärjestelmiä, lämmön jakelua ja luovutusta.

4.2 Kaukolämpö

Kaukolämpö tuotetaan joko yhteistuotantona lämpöä ja sähköä tuottavissa voimalaitoksissa tai erillistuotantona lämpökeskuksissa. Kuvassa 6 on esitetty kaukolämmön tuotantotapojen jakautuminen prosentteina. Lämpö siirtyy käyttäjille kaukolämpöverkossa kiertävän kuuman kaukolämpöveden mukana. Talon lämmönjakokeskuksessa lämpö siirtyy lämpöverkosta lämmönsiirtimien avulla asiakkaan lämpöverkkoon, lämpiämään käyttöveteen ja/tai ilmanvaihtoverkkoon. Kun kaukolämpövesi on luovuttanut lämpönsä kiinteistölle, se palaa jäähtyneenä takaisin lämpölaitokselle. Paluuveden lämpötilan tulisi olla mahdollisimman alhainen, jotta kaukolämmön tuotanto toimisi hyvällä hyötysuhteella. [7, s. 8, 27; 9; 10; 11]

Kaukolämmön tuotanto 2013

34,5 TWh



Kuva 6. Kaukolämmön tuotantotavat vuonna 2013. [11]

4.3 Sähkölämmitys

4.3.1 Yleisesti

Sähkölämmitys voidaan toteuttaa suorana, eli pääasiallisesti pattereiden tai lattialämmityksen avulla. Epäsuorasti sähkölämmitystä käytetään taas erilaisissa lämpöpumppusovelluksissa, joko vesikiertoisen lämmityksen tai suoraan ilman välityksellä.

Erilaisia lämpöpumpputyyppejä on käsitelty lyhyesti seuraavissa kappaleissa ja lämpöpumpun toimintaperiaate yleisesti on esitetty kuvassa 7.

4.3.2 Ilmalämpöpumppu

Ilmalämpöpumppu on Suomen yleisin lämpöpumpputyyppejä. Ilmalämpöpumput sopivat hyvin täydentämään varsinaista lämmitysjärjestelmää erityisesti pienkohteissa. Ilmalämpöpumppu koostuu ulkoyksiköstä, joka sisältää höyrystimen sekä kompressorin ja sisäyksiköstä, joka kierrättää sisäilmaa puhallinpatterin avulla. Ilmalämpöpumppu ottaa ulkoilmasta lämpöä jäähdyttämällä ulkoilmaa muutamalla asteella. Lämpöä paremmat

lämpöpumput tuottavat järkevällä hyötysuhteella vielä noin -20 °C lämpötilaan asti, jonka jälkeen lämmön tuotto ei ole enää järkevää pumppuun kohdistuvan rasituksen vuoksi. Edellä mainitun takia rakennuksissa on oltava täysimittainen lämmitysjärjestelmä. [12; 13]

4.3.3 Maalämpö

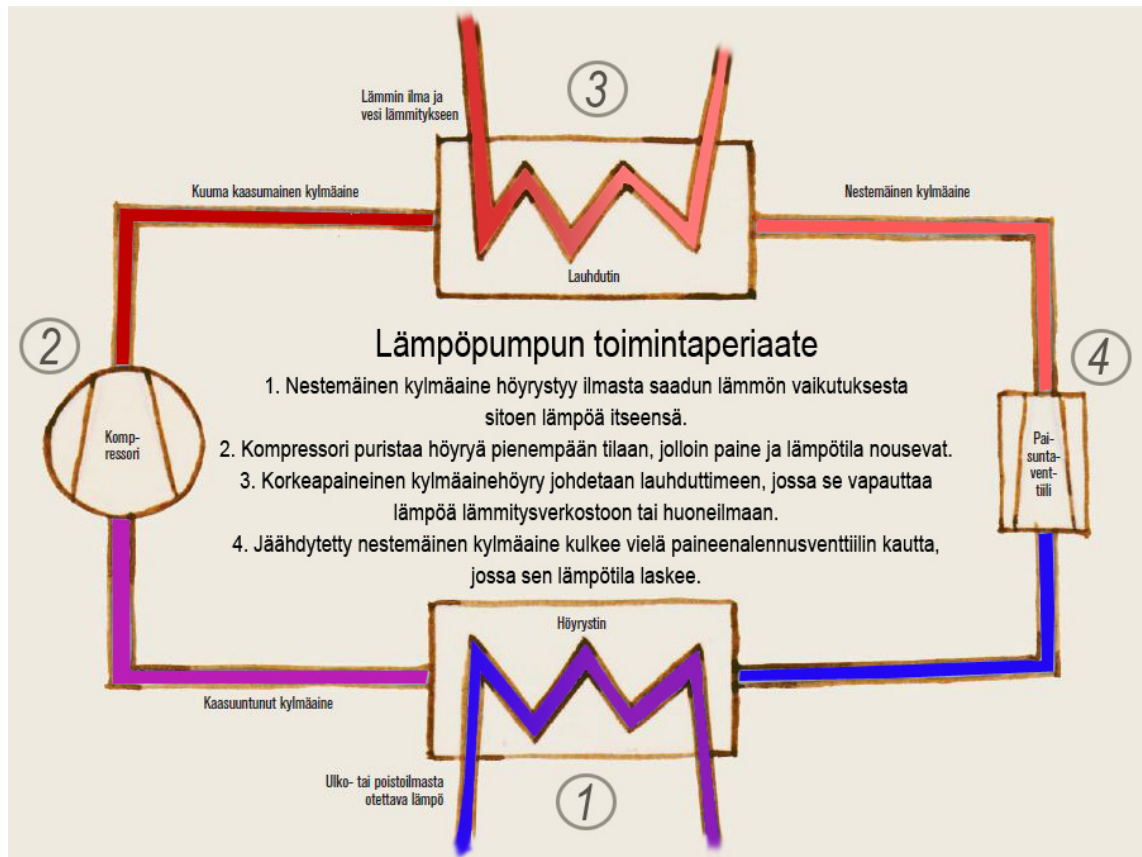
Maalämmössä hyödynnetään maaperän pintakerrokseen, kallioperään tai vesistöihin sitoutunutta aurinkoenergiaa. Talteenottotapana on lämmönkeruupiiri, joka on joko kallioon porattu lämpökaivo, noin metrin syvyyteen asennettu vaakaputkisto tai vesistöön upotettu keruuputkisto. [12; 14]

Keruuputkistossa on jäätymätöntä nestettä, joka lämpenee muutamia asteita matkansa aikana. Nesteestä saatava lämpö höyrystää kylmäaineen, joka kiertää lämpöpumpussa. Höyrystyneen kylmäaineen paine nostetaan kompressorilla, jolloin lämpötila nousee. Lopuksi kylmäaine jäähtyy lämpöpumpun lauhduttimessa takaisin nesteeksi, jolloin luovutettava lämpö sitoutuu lämpimään käyttöveteen tai talon lämpöverkkoon. [12; 14]

Parhaimman hyötysuhteen maalämpö antaa käytettynä yhdessä vesikiertoisen lattialämmityksen kanssa. Maalämpö voi toimia pääasiallisena lämmitysjärjestelmänä, kun lämpöpumpussa on joko tarpeeksi laaja lämmönkeruupiiri tai vastukset lisälämmitystä varten, jolloin myös lämmin käyttövesi yleensä tuotetaan lämpöpumpun avulla. [12; 14]

4.3.4 Ilma-vesilämpöpumppu

Ilma-vesilämpöpumppu siirtää keräämänsä lämmön vesikiertoiseen lämmönjakojärjestelmään. Ilma-vesilämpöpumpussa on kaksi lämmönvaihdinta ja se toimii samalla periaatteella kuin muutkin lämpöpumput. [12; 15]



Kuva 7. Lämpöpumpun toimintaperiaate. [16 (muokattu)]

Lämpöpumppu toimii noin $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ asti, jonka jälkeen täytyy vaihtaa olemassa olevaan lämmitysjärjestelmään tai turvautua laitteistoon integroituun sähkövastukseen. Laitteisto pystyy lämmittämään tilojen lämmitys- ja käyttöveden noin $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ asteeseen saakka, tämän yli menevä lämpö hoidetaan sähkövastuksella. Ilma-vesilämpöpumppu sähkövastuksella kattaa lämmitystarpeen eikä tarvitse rinnalleen täysimittaista varajärjestelmää. [12; 15]

4.3.5 Poistoilmalämpöpumppu

Poistoilmalämpöpumppu nimensä mukaisesti ottaa lämmitysenergiaa talosta poistuvasta ilmasta ja siirtää lämmön tuloilmaan, lämpimään käyttöveteen tai vesikiertoiseen lämmitysjärjestelmään. Poistoilmalämpöpumppu soveltuu myös sisäilman viilentämiseen ja lisäksi se huolehtii ilmanvaihdosta. Lämmönlähteen ollessa sama, talon sisäilma, poistoilmalämpöpumppu tuottaa tasaisesti ympäri vuoden lämpöä noin $2\text{--}3\text{ kW}$. Muuta lämmitysjärjestelmää poistoilmalämpöpumpun rinnalle ei siis tarvita. [12; 17]

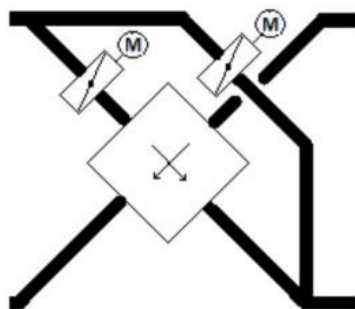
Koska kaikkea talon tarvitsemaa lämpöenergiaa ei voida tuottaa poistoilmalämpöpumpulla suuren lämmitystarpeen aikana, niin loput tarvittavasta lämmöstä tuotetaan pumpun sähkövastuksilla. Saavutettava ostoenergian säästö on noin 40 % verrattuna suoraan sähkölämmitykseen. [12; 17]

4.3.6 Ilmanvaihtokoneiden lämmöntalteenotto

Varsinkin suurissa kohteissa osittainen lämmitys järjestyy ilmanvaihtokoneilla ilman avulla. Suurissa ilmanvaihtokoneissa on lähes poikkeuksetta lämmöntalteenotto eli LTO. Nykyisin myös uudet ja saneerattavat kerrostalokohteet varustetaan usein asun- tokohtaisesti LTO:n sisältävillä pienillä ilmanvaihtokoneilla. Yleisimpiä LTO-menetelmiä ovat pyörivä lämmönsiirrin, levylämmönsiirrin ja vesiglykolilämmönsiirrin.

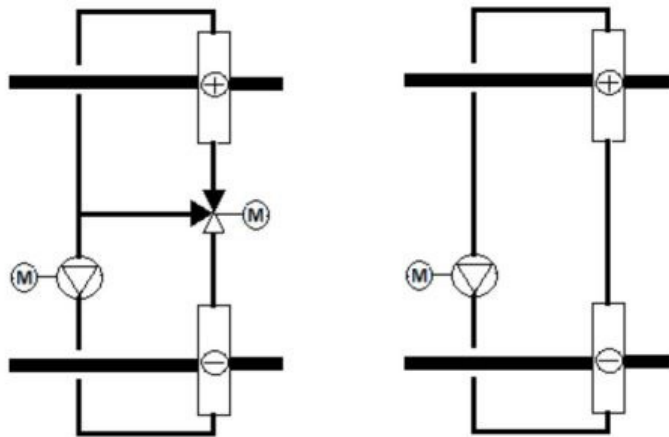
Pyörivä lämmönsiirrin sisältää kiekon, joka siirtää lämpöä poistoilmasta tuloilmaan. Lämmönsiirtimen sisältämän kiekon takia pyörivää lämmönsiirrintä kutsutaankin yleisesti myös kiekko LTO:ksi. Pyörivän LTO:n lämpötilahyötysuhde on jopa 70–85 %.

Levylämmönsiirtimessä on kennosto, jonka läpi sekä tulo- että poistoilma virtaavat. Ilmavirrat eivät kuitenkaan ole tekemisissä keskenään vaan kennoston joka toisessa välissä virtaa tuloilmaa ja joka toisessa poistoilmaa. Lämpö siirtyy kennoston seinämi- en läpi lämpimästä viileämpään ja hyötysuhde on 50–65 %. Levylämmönsiirrintä kutsutaan usein myös kuutio LTO:ksi tai ristivirta LTO:ksi, jossa nimensä mukaisesti ilmavirrat kulkevat ristiin. Kuva 8 esittää levylämmönsiirtimen ristivirtaperiaatetta.



Kuva 8. Levylämmönsiirrin. [18]

Vesiglykolilämmönsiirtimessä lämpö siirtyy vesiglykoliliuoksen ja lämmönsiirtimien välityksellä poistoilmasta tuloilmaan. Vesiglykoli LTO:ta kutsutaan myös nestekiertoiseksi LTO:ksi. Nestekiertoisen lämmöntalteenoton hyötysuhde on noin 40–60 %. Kuvassa 9 on esitetty nestekiertoisen lämmöntalteenoton periaate.

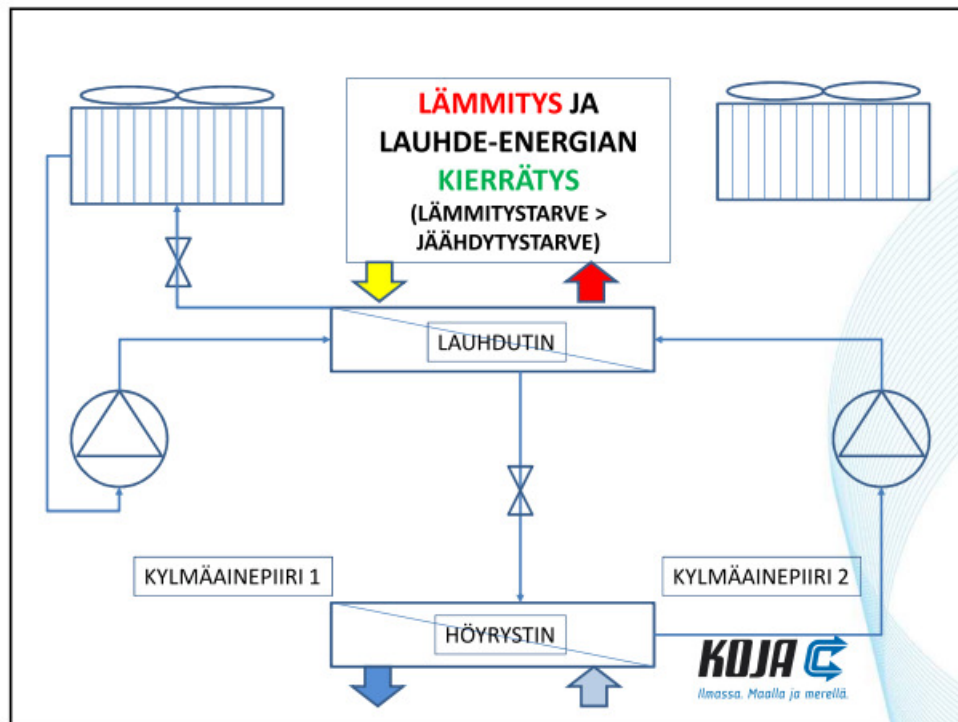


Kuva 9. Nestekiertoinen lämmöntalteenotto. [18]

4.3.7 Hybridilämpöpumppu

Hybridilämpöpumppu on lämpöpumppu, joka voi toimia samanaikaisesti sekä jäähdytys- että lämmityskäytössä. Hybridilämpöpumppu sisältää kolme lämmönsiirintä, jäähdytys- ja lämmityspiiriin omansa ja energiantuottoon vielä kolmannen. Juuri samanaikaisessa jäähdytys- ja lämmityskäytössä hybridilämpöpumppu onkin aivan omaa luokkaansa, koska yhdellä koneella saadaan hoidettua kaksi toimintoa. Samanaikainen lämmitys- ja jäähdytyskäyttö toimii koneessa jopa niin hyvin, että pelkällä lauhdeenergian kierrätyksellä hoidetaan lämmitystarve, joissain tilanteissa, kokonaan.

Hybridilämpöpumpun lämpö voidaan tuottaa joko ulkoilmasta tai sitten keruupiiriin avulla. Pelkkää jäähdytystä varten laite siirtää energiaa jäähdytysverkosta ulkoilmaan tai keruupiiriin. Hybridilämpöpumpun toiminta, kun lämmitystarve on suurempaa kuin jäähdytys, on esitetty kuvassa 10. Käytössä on siis lauhdelämmön kierrätys sekä lämmitys. [19]



Kuva 10. Hybridilämpöpumpun toimintaa, kun lämmitystarve on suurempaa kuin jäähdytystarve. [19]

4.4 Öljylämmitys

Öljyjärjestelmään kuuluu öljykattila, öljypoltin, säätölaitteet ja öljysäiliö. Polttimessa öljy sytytetään ja syntynyt lämpö siirtyy kattilan veteen, joka lämmittää käyttövettä ja lämmitysverkoston vettä, niin ettei erillistä lämminvesivaraajaa tarvita.

Olemassa olevasta öljylämmitteisestä rakennuskannasta noin 8 % on rivi- ja kerrostaloja ja 12 % on muita rakennuksia. Nykyaikaisten öljykattiloiden palaminen on hyvin puhdasta ja niiden hyötysuhde on noin 90–95 %. Öljylämmitys voidaan yhdistää aurinkolämmitykseen, jolla voidaan kattaa noin 25–35 % lämmöntarpeesta. Lisäksi useissa öljykattiloissa on sähkövastukset mahdollisten häiriötilanteiden varalta. [7, s. 9; 20]

4.5 Maakaasulämmitys

Maakaasua esiintyy puhtaana, joten sitä ei tarvitse juuri käsitellä erikseen. Maakaasu on edukseen vähäsaasteista muihin fossiilisiin polttoaineisiin verrattuna ja sillä on korkea hyötysuhde. Maakaasua ei varastoida vaan se liitetään paikkakunnan jakeluverkkoon. Jakeluverkoston suppeuden takia maakaasulämmitys ei ole kovin yleinen.

Lämmitysjärjestelmä koostuu lämmityskattilasta ja siihen liitetystä kaasupolttimesta. Lisäksi maakaasua kannattaa hyödyntää myös keittiön liedessä. Maakaasulla toimiva lämmitysjärjestelmä on vesikiertoinen. Maakaasujärjestelmä on hyvin samankaltainen kuin öljylämmitysjärjestelmä ja melkein kaikkia öljykattiloita voidaan käyttää myös maakaasulla lähes pelkällä polttimen vaihdolla. Vuosihyötysuhde maakaasulla on yli 90 %. [21; 22]

4.6 Puuperäiset lämmitysjärjestelmät

Pellettilämmitysjärjestelmä koostuu kattilasta, polttimesta, siirtoruuvista ja varastosiilosta. Pelleteille on olemassa oma erityissuunniteltu poltin tai poltin voidaan asentaa useimpiin öljy- ja puukattiloihin. Pelletit sisältävät pienessä muodossa kohtalaisen paljon energiaa. Pelletit valmistetaan kutterinpurusta, sahajauhasta ja hiontapölystä kaasaan puristamalla. Materiaalit ovat sahateollisuuden ylijäämää ja niin ollen vähän ympäristöä kuormittavia.

Hieman toisenlaisia puuperäisiä lämmitysjärjestelmiä ovat suoraan puuainesta kuten haketta, halkoja ja pilkettä polttavat järjestelmät. Puukattiloita on kolmea erilaista ala-, ylä- ja käänteispalokattiloita. Tietyt polttoaineet sopivat tietyille kattiloille ja on tärkeää, että polttoaine on tarpeeksi kuivaa. Palokattilat tarvitsevat yleensä rinnalleen lämminvesivaraajan, jonne kattilan tuottama lämpö varastoidaan. Lämmönjako puukattilajärjestelmässä tapahtuu yleensä vesikiertoisella lattia- tai patterilämmitysverkostolla. [22; 23; 24]

4.7 Aurinkolämmitys

Aurinkolämmitystä voidaan käyttää varsinaisen lämmitysjärjestelmän rinnalla. Suurin potentiaali aurinkolämmöstä saadaan kesäkaudella. Lämmitys tapahtuu, kun aurinkokeräimissä virtaava neste tai ilma lämpenee ja kuljettaa lämpönsä sitten talon lämpöverkon käytettäväksi tai lämpimän käyttöveden tuottamiseen. Aurinkokeräinten paras toiminta-aika sijoittuu kesäkaudelle, jolloin lämmitystä ei juuri tarvita muutoin kuin käyttöveden osalta. [7 s. 11; 25 s. 72–78]

Aurinkokeräimiä on karkeasti jaoteltuna kahta eri tyyppiä nestekiertoisia ja ilmakiertoisia. Nestekiertoiset keräimet jaetaan vielä tasokeräimiin ja tyhjiöputkikeräimiin. Tyhjiökeräimissä neste virtaa putkissa, joiden ympärillä on vielä tyhjiökerros estämässä lämmön karkaamista takaisin. Tasokeräimissä säteily kerätään tumman keräinelementin avulla, joka kuumenee ja joka siirtää keräämänsä lämmön joko nesteeseen tai ilmaan. [25 s. 72–78]

5 Jäähdytysjärjestelmät: Jäähdytysenergian tuotanto

Rakennusten jäähdytys ja ilmanvaihto nivoutuvat monesti yhteen, koska samoilla koneilla, joilla ilmanvaihto hoidetaan, voidaan myös hoitaa pääasiallisesti tiloihin tulevan ilman lämmitystä ja jäähdytystä. Varsinkin suurempien rakennusten perusjäähdytys hoidetaan ilmanvaihtokoneilla jäähdyttämällä tilaan puhallettavaa ilmaa eri periaatteilla.

5.1 Kaukojäähdytys

Kaukojäähdytyksen toimintaperiaate on lähes samanlainen kuin kaukolämmössäkin, sillä erotuksella, että kaukojäähdytyksessä asiakkaalta siirretään ylimääräinen lämpö energiayritykselle kaukojäähdytysnesteen mukana. Verrattuna rakennuskohtaiseen jäähdytykseen kaukojäähdytys on pitkäaikaisempi ja vaivattomampi ratkaisu. [7, s. 111–114 ; 26]

Kun jäähdytyskoneita ei tarvita, niiden aiheuttamat äänihaitat poistuvat ja niille varattu tila vapautuu muuhun käyttöön. Lisäksi putkistolle ei tarvitse tehdä huoltoa, eikä kunnossapidosta tarvitse huolehtia. Uusissa rakennuksissa jäähdytyksen tarvetta voi ilme-

tä myös talvella, sisäisen lämpökuorman vaikutuksesta, joten kaukojäähdytys voi olla hyvä vaihtoehto tähän. [7, s. 111–114 ; 26]

5.2 Koneellinen jäähdytys

Oleellisena osana koneellisessa jäähdytyksessä on kompressori, johon olennaisesti ovat yhteydessä höyrystin ja lauhdutin. Höyrystin ja lauhdutin ovat lämmönsiirtimiä ja höyrystimiä on sekä suora-höyrysteisiä että välillisesti höyrystettäviä. Suorassa jäähdytyksessä höyrystin sijoitetaan joko tuloilmakoneeseen tai tuloilmakanavaan ja se jäähdyttää suoraan ilmaa. Lauhdutus tapahtuu joko ilman tai veden avulla. Välillisessä järjestelmässä jäähdytyspatterissa kiertää väliaine, kuten vesi tai vesi-glykoliliuos, joka jäähdyttää ilmaa jäähdyttävää patteria. Suora-höyrysteisiä jäähdytysjärjestelmiä käytetään yleensä pienissä teholuokissa ja kohteissa. Välillisen järjestelmän etuja ovat hyvä ja helppo säädettävyys sekä pienemmät kylmäainetäytöt. [27 s. 323–335]

5.3 Maajäähdytys

Maajäähdytys on periaatteessa maalämmitys käänteisesti. Lämpöä viedään nesteen mukana lämpökaivoon ja kaivosta otetaan viileää tilalle. Maalämpöpiiristä siis saadaan kesällä jäähdytysenergiaa. Maajäähdytykseen eli passiivijäähdytykseen tarvitsee yksinkertaisimmillaan maalämpöpiiriin vain kiertovesipumpun ja puhallinkonvektorin tai lattiakiertoisen lämmitysjärjestelmän. Maajäähdytyksen seurauksena kaivoon varastoituu kesällä enemmän lämpöenergiaa, joka puolestaan tehostaa talven maalämpökäyttöä. Lisäksi jäähdytyksenaikainen lämmön vienti kaivoon auttaa pitämään lämpökentän elinvoimaisena ja estää kallioperää viilenemästä liikaa maalämmön käytön seurauksena. [27 s. 353]

5.4 Meri-, järvi- ja jokijäähdytys

Meri-, järvi- ja jokivesi ovat hyvin tehokkaita jäähdytyspotentiaaleja. Vesistöstä otettava jäähdytyslämpö pysyy ympäri vuoden melkein samana. Varsinkin syvissä ja virtaavissa vesissä lämpötila ei kesälläkään nouse juuri ollenkaan. Vesijäähdytyksessä täytyy vain ottaa huomioon, ettei vesistö lämpene liikaa jäähdytyksen vaikutuksesta. Jäähdytysenergia kiinteistöön voidaan tuoda vedessä kiertävän liuosputken mukana tai sitten

suoraan vettä kierrättämällä verkossa. Jälkimmäisessä tapauksessa, varsinkin Suomen oloissa, on kuitenkin jäätymisriski talvella. [27 s. 353–354]

6 Jäähdytysjärjestelmät: Jäähdytysenergian jakelu

6.1 Tuloilma

Tuloilmajärjestelmässä ilman jäähdytys tapahtuu ilmastointikoneessa. Tuloilmajärjestelmät jakautuvat yksivyöhykejärjestelmään, monivyöhykejärjestelmään, jälkilämmitys-järjestelmään sekä ilmavirtasäätöiseen järjestelmään. [5, s. 224–230]

Ilmajärjestelmien etuja ovat laitteiden keskitetty sijoitus, jolloin niiden huolto ja käyttö on helppoa ja miellyttävää, sekä mahdollisuus tehokkaaseen ulkoilman hyötykäyttöön jäähdytyksessä. Lämmön talteenotto poistoilmasta onnistuu helposti, sekä muutosten kannalta järjestelmä on joustava. [5, s. 224–225]

Yksivyöhykejärjestelmässä ilma johdetaan vyöhykkeeseen, jonka koko voi olla yhdestä huoneesta koko rakennukseen. Tällainen järjestelmä sopii kohteisiin, joissa huoneiden jäähdytys- ja lämmitystehontarve ovat yhtenäisiä. [5, s. 225]

Monivyöhykejärjestelmässä ilma jaetaan kahteen tai useampaan vyöhykkeeseen, joiden ilman lämpötilat säädetään erikseen. Jäähdytyksessä käytetään ulkoilmaa niin pitkälle kuin voidaan, jonka jälkeen jäähdytyslaitteiston kompressorin jatkaa jäähdytystä. Käytössä monivyöhykejärjestelmä on kohteissa, joissa on useampia suurehkoja tiloja tai huoneryhmiä, joiden kuormitus on samankaltaista. Perinteisimpiä kohteita, joissa monivyöhykejärjestelmä on käytössä, ovat esimerkiksi tavaratalot, pienhuonetoimistorakennukset ja suuria vyöhykkeitä sisältävät julkiset rakennukset. [5, s. 226]

Jälkilämmitys-järjestelmässä ilma lämmitetään huonekohtaisesti, huonetilassa sijaitsevalla lämmitysyksiköllä. Lämmittimet yleensä ovat vesikiertoisia, jolloin lämminvesiputket tulevat jokaiseen jälkilämmitysyksikköön. [5, s. 227]

Ilmavirtasäätöisessä järjestelmässä tuloilman lämpötila on vakio ja ilma käsitellään sopivan lämpöiseksi keskuskoneella. Tilojen lämmitys tapahtuu erikseen joko patteriverkostolla tai vakioilmavirralla koko vyöhykkeen alueelle. Ilmavirtasäätöinen jäähdytys

sopii kohteisiin, joissa kuormitus vaihtelee, mutta samanaikaista lämmitys- ja jäähdytystarvetta ei esiinny. [5, s. 228–229]

6.2 Suutin- ja puhallinkonvektorit

Ilma-vesijäähdytys jakautuu suutinkonvektori- ja puhallinkonvektorijärjestelmiin. Tulovirta suutinkonvektorijärjestelmässä mitoitetaan tilan ilmanvaihdon tarpeen mukaan. Lämmitys ja jäähdytys tapahtuvat pääasiallisesti konvektorin vesipattereiden avulla. Järjestelmä soveltuu erityisen hyvin rakennuksiin, joissa on paljon pieniä huoneita ja suuret kuormitusvaihtelut huoneiden välillä, kuten esimerkiksi toimisto- ja liikerakennusten ulkovyöhykkeillä. [5, s. 230–231]

Puhallinkonvektorijärjestelmä on toimintaperiaatteeltaan hyvin pitkälti samanlainen kuin suutinkonvektorijärjestelmä. Konvektoreiden oleellinen ero on huoneyksiköissä, puhallinkonvektorissa on oma puhallin. Kumpaankin konvektoryyppiin on mahdollista liittää useita erilaisia vesipuolen kytkentöjä, jotka vaikuttavat lämpötilan säätöön. [5, s. 234]

6.3 Säteilijät

Vesijärjestelmässä tuloilmaa ei säädetä lämmityksen tai jäähdytyksen mukaan, vaan lämmitys- ja jäähdytysteho tuodaan vesikiertoisen järjestelmän mukana. Tavallisimmat vesijärjestelmät ovat asuin- ja muiden rakennusten vesipatteri- ja lattiajärjestelmät sekä katon säteilylämmitys ja -jäähdytys.

Kattojäähdytyksessä tilat jäähtyvät katossa sijaitsevilla paneeleilla. Paneeleissa kiertää jäähdytysvesi, jonka jäähdytysenergia säteilee huoneeseen. Paneelit mitoitetaan niin, ettei kondensiota pääse tapahtumaan. Lattiajäähdytys toimii samalla periaatteella kuin lattialämmityskin. Lattiassa kiertävässä putkistossa virtaa tarpeeksi viileää vettä, viilentäen samalla lattiapinnan. Lattiajäähdytyspiirissä täytyy muistaa ottaa huomioon lattian materiaali, esimerkiksi laattalattia tarvitsee jäähdytyskäytössä tarpeeksi lämpimän veden kierron, ettei lattia tuntuisi liian kylmältä.

7 Hybridijärjestelmät

7.1 Hybrideistä

Tässä työssä hybridillä tarkoitetaan sellaista lämmitys- tai jäähdytysjärjestelmää, joka sisältää kaksi tai useampia lämmitys-/jäähdytystapoja. Voidaan kritisoida riittääkö esimerkiksi kaksi eri lämmitystapaa tekemään hybridistä täysverisen, vai pitäisikö kenties ilmaista asia niin, että hybridi muodostuu vähintään kahdesta, mutta mieluummin useammasta erilaisesta lämmitystavasta koostuvasta lämmitysjärjestelmästä. Yleensä hybridijärjestelmissä on ensisijainen lämmön-/viilennyksentuottotapa ja toissijainen lämmön-/viilennyksentuottotapa. Hybridijärjestelmiä voi olla joko pelkästään lämmitykseen tai jäähdytykseen, mutta myös kumpaankin. Hybridijärjestelmiin voisi myös lukea niihin liitetyt sähköntuottojärjestelmät, kuten aurinkopaneelit, erilaiset tuuliturbiinisovelukset ja mikro CHP-laitteet. Mikro CHP-laitteet ovat rakennuksen omia pieniä sähkön ja lämmöntuottoyksiköitä.

Energiatehokkuus ja käytön edullisuus ovat ratkaisevia tekijöitä hybridijärjestelmää valittaessa. Hybridijärjestelmäkokonaisuus täytyy miettiä tarkasti, koska järjestelmien tulee toimia sujuvasti myös rinnakkain. Varsinkin uusissa kohteissa, joissa aiempaa ratkaisua ei vielä ole, hybridit pyritään valitsemaan niin, että niiden käyttökustannukset tulevat ympärivuotisesti mahdollisimman pieniksi. Olisi hyvä miettiä myös järjestelmän takaisinmaksuaikaa. Lämmön- ja jäähdytysentuottotavan valinnan yhteydessä pyritään myös hieman ennakoimaan tulevaa, eli mietitään pidemmällä aikavälillä lämmitys- ja jäähdytysmuodon kustannuksia esimerkiksi tilastojen perusteella.

Kustannusten osalta hybridijärjestelmän investointikustannukset ovat yleensä huomattavasti suurempia kuin esimerkiksi kaukolämmön ja kaukojäähdytyksen. Investointikustannukset tosin sulavat hyvinkin nopeasti edullisten vuotuisten energiakustannusten myötä ja pidemmällä välillä hybridijärjestelmä voi tulla ja todennäköisesti tulee huomattavasti pelkkää kaukolämpöä-/jäähdytystä halvemmaksi.

Saneeratuissa kohteissa hybridit yleensä koostuvat vanhoista päivitetystä lämmitys- tai jäähdytysjärjestelmistä ja uusista niihin liitetyistä usein uusiutuviin luonnonvaroihin perustuvista järjestelmistä. Esimerkkinä kaukolämmitysjärjestelmään voi olla liitettynä maalämpö. [1]

7.2 Pientalot

Hybridiratkaisut pientaloille voivat olla hyvin erimuotoisia ja aikaisempi lämmitysjärjestelmä pyritään säilyttämään ja sisällyttämään uuteen ratkaisuun, jos se vain on mahdollista ja järkevää.

Pientaloilla hybridijärjestelmät keskittyvät lähinnä lämmitykseen ja jäähdytys tulee bonuksena, jos sellaista on. Yleisimpiä hybridiyhdistelmiä pientaloille ovat esimerkiksi öljy-aurinkolämmitys, öljy-ilmalämpöpumppu/vesi-ilmalämpöpumppu, öljy-maalämpö tai poistoilmalämpöpumppu-kaukolämpö.

Tässä insinööritoiminnassa ei ole tarkoitus käsitellä tämän enempää pientalojen ratkaisuja, vaan keskitytään lähinnä hybrideihin suurempien rakennusten ja kokonaisuuksien kannalta.

7.3 Suuremmat rakennukset

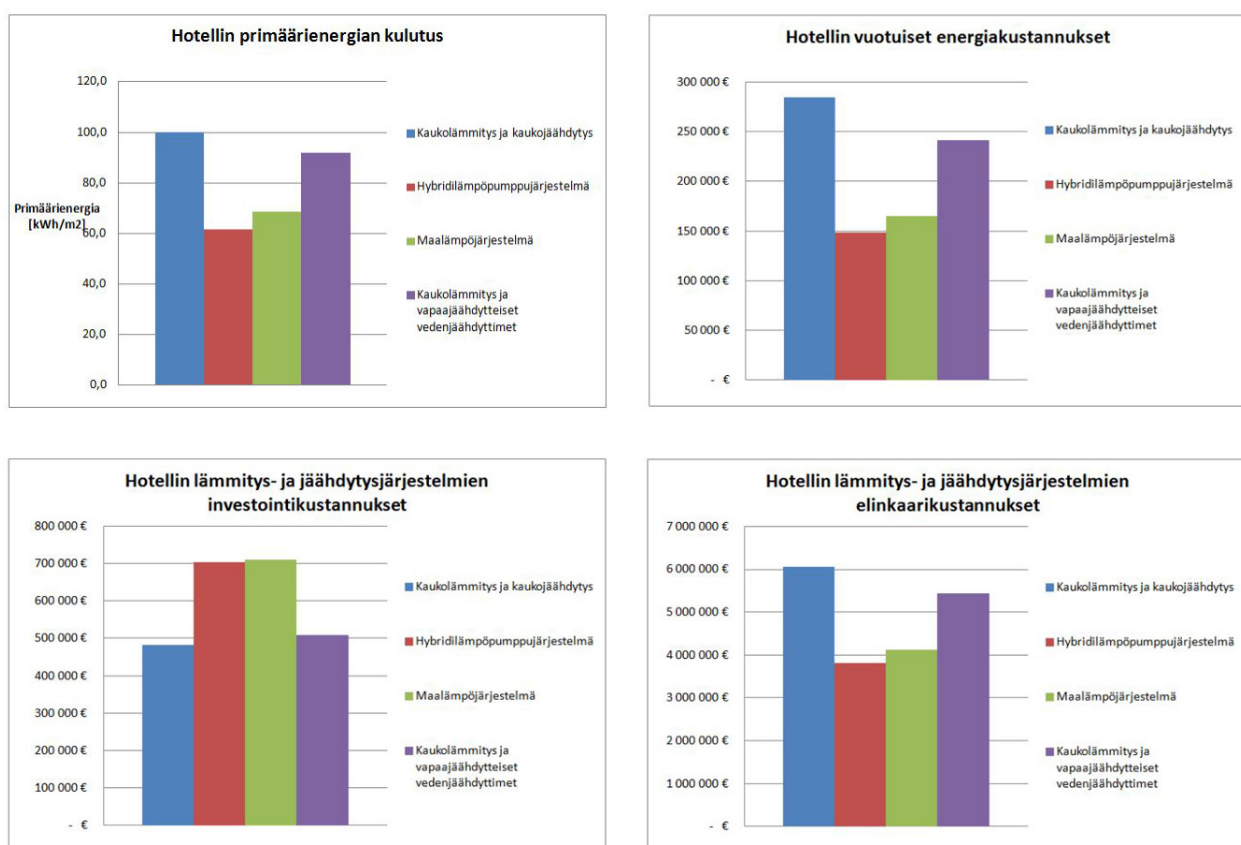
Suurempien rakennusten hybridiratkaisut ovat kohtalaisen uusia ja harvalukuisempia kuin pientalojen vastaavat järjestelmät. Suurempien laitosten hybridijärjestelmät ovat usein kohtalaisen monimutkaisia ja niistä ei ole useimmiten kokemusta kuin joidenkin kymmenien hankkeiden verran. Tässä täytyy myös muistaa, että jokainen rakennus on yksilö ja ratkaisu, joka toisessa kohteessa toimii loistavasti, ei välttämättä toiseen edes samantyyppiseen ole yhtä hyvä.

Jo olemassa olevien hybridien toiminnasta ei juuri ole saatavilla historiatietoja, joten niiden toimivuutta kohteissa pidemmällä aikavälillä voi vain arvailla. Tämän vuoksi olisiikin tärkeää, että suunnittelutoimistoilla olisi takuuajan etäyhteys hybridijärjestelmien seuraamista varten, jotta voitaisiin todeta mitkä ratkaisut ovat olleet hyviä ja toimivia sekä mitä pitäisi parantaa tai muuttaa. Seurannasta myös selviäisi pitävätkö ennakkoon lasketut energiakulutukset ja energiantarvelaskelmat yhtään paikkaansa. [1]

Aina hybridijärjestelmät eivät välttämättä ole energiatehokkain tai kannattavin ratkaisu, mutta pääsääntönä voisi pitää sitä, että jos kiinteistössä on jäähdytystarvetta, todennäköisesti myös hybridijärjestelmälle on käyttöä. Käytännössä mitä suurempi kiinteistö sitä helpommin energiansäästöä syntyy ja niin ollen myös investointi maksaa itsensä

nopeammin takaisin. Suurempien kiinteistöjen saavuttamat säästöt ja hyödyt ovat myös moninkertaisia pientaloihin verrattuna. Laitteistot suurempiin kiinteistöihin eivät maksa suhteessa enemmän, vaan kustannukset neliömetrille jäävät pienemmiksi. [1]

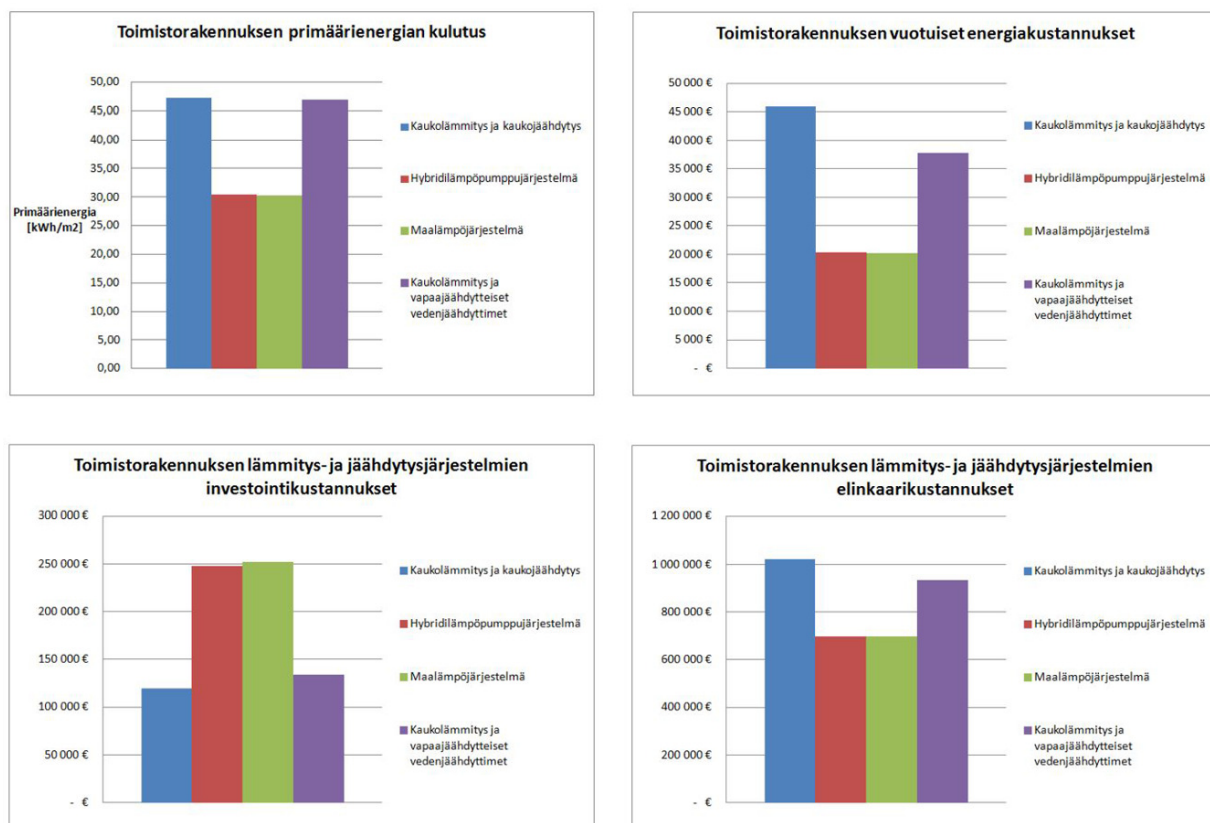
Taneli Timlin vertaa diplomityössään *Lähienergiaratkaisut kiinteistöjen energiavirtoja kierrättämällä* erilaisilla lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmillä toteutettujen ratkaisuiden energiankulutuksia ja kustannuksia laskennallisesti. Oheisissa kuvissa 11 ja 12 on esitetty esimerkkinä hotellin ja toimiston kustannuslaskelmia ja vertailua. Laskelmissa on vertailtu kaukolämmitys- ja kaukojäähdytysjärjestelmää, hybridilämpöpumppujärjestelmää, maalämpöjärjestelmää ja kaukolämmitystä vapaajäähdytteillä vedenjäähdyttimillä. Lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmät ovat primäärisiä ja esimerkiksi maalämpöjärjestelmä ei ole täysin mitoitettu vaan siihen sisältyy lisälämmitysjärjestelmänä kaukolämpö. [28]



Kuva 11. Hotellin primäärienergian kulutus, vuotuiset energiakustannukset, investointikustannukset sekä elinkaarikustannukset. Kuva on koostettu useammasta taulukosta. [28]

Hotellin, jossa sijaitsee myös jonkinlainen datakeskus, jäähdytyskuorma on kohtalaisen suuri myös talvella eli yhtäaikaista lämmitystä ja jäähdytystä on melko suuri osa vuo-

desta. Puolestaan vertailussa olleessa toimistorakennuksessa yhtäaikaista lämmitys- ja jäähdytystarpeita ei juuri ole. Silti kummassakin tapauksessa vuotuiset energiakustannukset sekä elinkaarikustannukset ovat hybridijärjestelmällä huomattavasti pienempiä kuin kaukolämpöjärjestelmällä. Laskelmissa rakennuksen elinkaareksi on päätetty 30 vuotta ja lämpöpumppujen uusimisista johtuvat kustannukset sinä aikana on otettu huomioon. [28]



Kuva 12. Toimistorakennuksen primäärienergian kulutus, vuotuiset energiakustannukset, investointikustannukset ja elinkaarikustannukset. Kuva on koostettu useammasta taulukosta. [28]

Edellisen perusteella voidaan todeta, että vaikka yhtäaikaista lämmitys- ja jäähdytystarpeita ei juuri ole, myös toimistorakennuksen elinkaarikustannusten perusteella jompikumpi hybridijärjestelmä tulisi huomattavasti edullisemmaksi. Huomion arvoista on lisäksi se, että elinkaarikustannuksiin on jo laskettu 30 vuoden ajalle lämpöpumppujen uusimiset. [28]

7.4 Esimerkkiratkaisuja suuremmista hybridikohteista

7.4.1 Suomen luontokeskus Haltia

Esimerkkikohteita löytyy helpostikin, jos vain tietää mitä etsiä. Varmaan eniten julkisuutta saanut hybridilämmitystä ja jäähdytystä yhdistelevä rakennus on luontokeskus Haltia (kuva 13) Espoon Nuuksiossa. Haltiasta on pyritty suunnittelemaan ja toteuttamaan kaikin puolin mahdollisimman ekologinen ja luontoystävällinen rakennus. Haltiassa maalämpöä käytetään kesällä jäähdytykseen ja talvella lämmitykseen, aurinkokennät tuottavat lämpöä verkkoon ja ilmastoinnissa hyödynnetään lämmöntalteenottoa. Tavoitteena on jopa 75 % omavaraisuus lämmityksessä ja 100 % omavaraisuus jäähdytyksessä. [29]



Kuva 13. Suomen luontokeskus Haltia. [30]

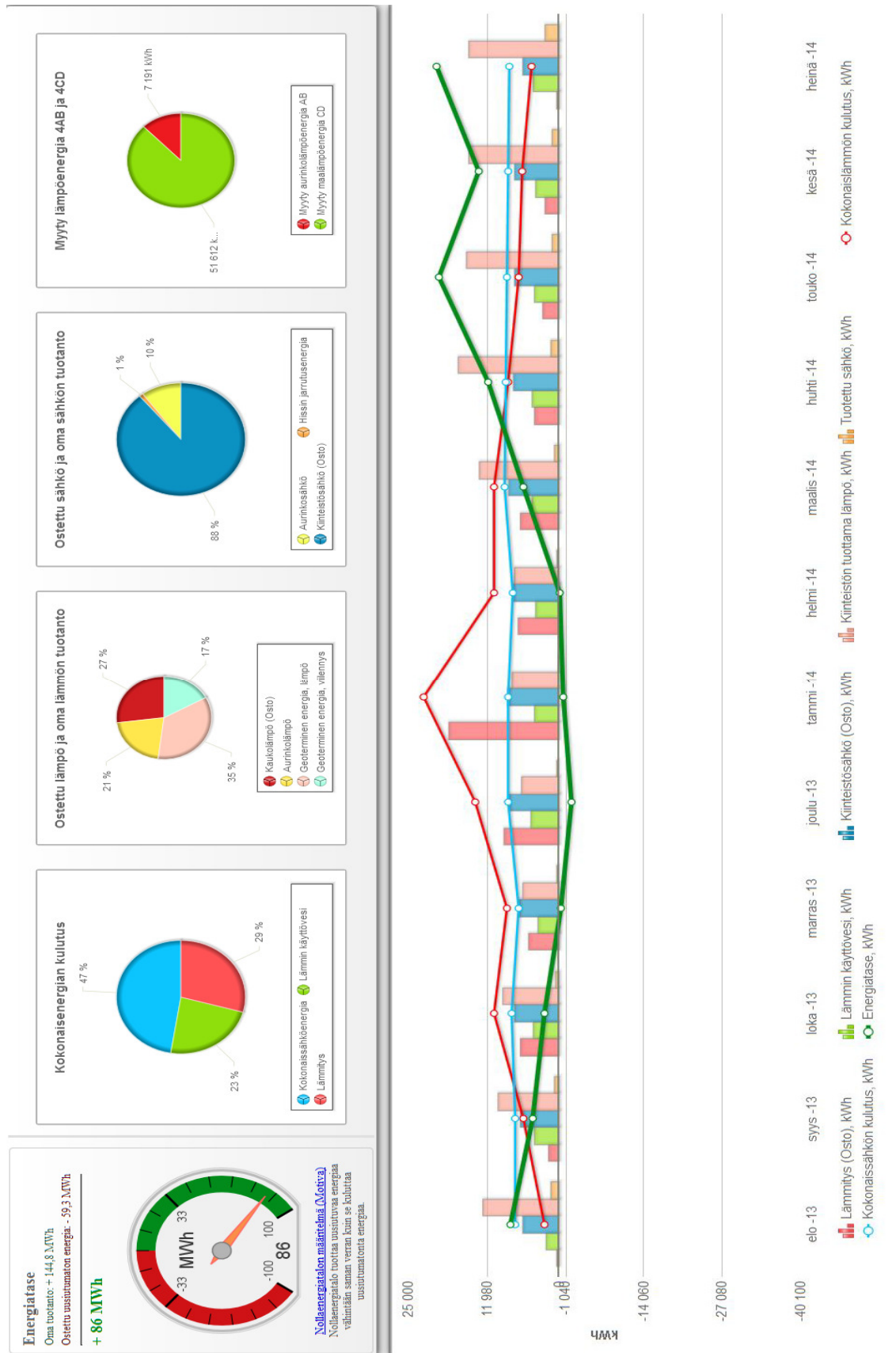
7.4.2 Otaniemen tiedeasunnot (Tutkijahotelli)

Toinen oikein hyvä malliesimerkki hybridijärjestelmien käytöstä on Aalto Yliopiston Tutkijahotelli, joka käyttää kaukolämpöä, maalämpöä (lämmitys ja jäähdytys), aurinkopaneeleja ja aurinkokeräimiä. Tämän lisäksi Tutkijahotellissa on jäteveden lämmöntalteenotto sekä ilmanvaihdon lämmöntalteenotto. Otaniemen tiedeasuntojen hybridijärjestelmää käsitellään yksityiskohtaisemmin luvussa 8. [31]

7.4.3 Nollaenergiatalo Järvenpää

Järvenpään Mestariasunnot Oy on rakennuttanut nollaenergia kerrostalon, joka käyttää kaukolämpöä, maalämpöä sekä lämmitys- että jäähdytystarpeisiin. Aurinkolämpöä sekä aurinkosähköä ja jopa hissien jarrutusenergiaa otetaan talteen. Nollaenergiatalon energiaseurantaa pääsee kuka tahansa tarkastelemaan netistä löytyvän linkin kautta. Kuvassa 14 on esitetty havainnollisesti Nollaenergiatalon energian kulutuksen ja-kauma, lämmöntuotto- ja sähköntuottomuodot.

Energianseurannassa eri energiamuodot on jaoteltu erikseen, niin että eri tuottoja ja kulutuksia pystyy seuraamaan helposti sekä vertaamaan muihin kuukausiin. Kuukausitasolla ja vielä yksityiskohtaisemmin tuotettu energia, kulutettu energia, ostettu ja myyty lämpö sekä vedenkulutus ovat esitettyinä liitteessä 1 olevassa taulukossa. Nollaenergiatalo ei oikeastaan ole ollutkaan nollaenergiatalo, muutaman viime vuoden tarkastelujakson ajalla, vaan se on jopa tuottanut energiaa yli oman tarpeensa, eli kuten kuvasta 14 näkyy, energiatase on reippaasti plussan puolella. [32]



Kuva 14. Järvenpään Mestariasuntojen Nollaenergiatalon toteutuneet kulutukset ja tuotot välillä elokuu 2013 - heinäkuu 2014. [32 (muokattu)]

7.4.4 Espoon kaupungin hankkeet

Espoon kaupungilla on lisäksi muutamia kouluhankkeita, joissa on lisätty peruskorjauksen yhteydessä uusiutuvia energiamuotoja käyttäviä lämmitys- ja jäähdytysratkaisuja vanhoihin järjestelmiin, tehden niitä hybrideiksi tai hybridien kaltaisiksi. Myös aivan uusia kouluja on rakennettu toimimaan hybridilämmitys- ja jäähdytysjärjestelmän kanssa, juurikin energiansäästöä ja ekologisuutta painottaen. Näistä kouluprojekteista tiedot löytyvät Espoon kaupungin sivuilta, jossa on esimerkkejä uusiutuvista energiaratkaisuista kohteissa energiakorttien (liite 2 ja 3) muodossa. [33]

7.4.5 Teivon ABC-liikenneasema ja Turun kaupunginteatteri -hanke

Hieman erilaista kohdetta edustaa Teivon ABC-liikenneasema. Teivon ABC:llä on käytössä kaukolämpö, tämän lisäksi asemalla käytetään myös maalämpöä niin lämmittämiseen kuin jäähdyttämiseenkin, sekä aurinkokeräimiä lämpimän käyttöveden tuottoon. Turun kaupunginteatterin peruskorjauksen yhteydessä otetaan näillä näkymin käyttöön lämpöpumppujärjestelmä ja samalla maanalaisen datakeskuksen lauhdelämpöjä johdetaan Samppalinnan maauimalan lämmityksen käyttöön. Rakennukset liitetään myös kaukolämpöön, mutta kaukolämpöä on tarkoitus pitää toissijaisena lämmönlähteenä. [34]

7.4.6 Yleisesti esimerkkikohteista

Näiden käyttötarkoitukseltaan suhteellisen erilaisten esimerkkikohteiden, julkinen rakennus, hotelli, kerrostalo, liikenneasema ja kulttuurirakennus, päätökset vaikuttaisivat olevan melko samanlaisia. Se missä suhteessa ja miten eri energiamuotoja käytetään hyväksi, voi kuitenkin poiketa näissä tapauksissa toisistaan huomattavastikin. Kulutus- ja tuottotietojen puuttuessa on turha lähteä sen kummemmin spekuloidaan erilaisten kiinteistöjen energiatehokkuutta tai kustannuksia, eikä siihen tässä työssä ole ollut tarkoitus ottaakaan sen suuremmin kantaa.

7.5 Hybridien haasteet

Hybridien suurimpia haasteita on se, kuinka valita lämmitys- ja jäähdytysmuodot niin, että ne täydentävät hyvin toisiaan vuoden ympäri ja samalla ovat mahdollisimman edullisia käyttää. Uusien rakennusten kannalta tärkeä näkökulma on myös uusiutuvien energiavarojen käyttö. Ratkaisut ovat erittäin tapauskohtaisia, jossain esimerkiksi kaukolämpö ei ole edes mahdollisuus, vaikka se laskennallisesti yhdessä jonkun muun kanssa olisi halvimpia vaihtoehtoja. Kahden tai useamman eri järjestelmän yhteensovittaminen saumattomasti ohjelmoinnin avulla on myös haastavaa, ja jo alkuvaiheessa täytyy kartoittaa mahdollisimman tarkasti missä tilanteissa mitäkin järjestelmää käytetään. [1]

8 Otaniemen tiedeasunnot: Hybridi lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmä

Tässä luvussa eritellään tarkemmin Otaniemen tiedeasuntojen hybridilämmitys- ja jäähdytysjärjestelmää säätökaavion (liite 4) perusteella. Tarkastelun kohteena ovat ensisijaiset lämmitysratkaisut ja niitä tukevat lisälämmitysratkaisut. Jäähdytysjärjestelmääkin sivuutetaan lyhyesti. Tarkoituksena on valottaa, miksi tällaisiin ratkaisuihin on päädytty ja mitä etuja niistä on rakennuksen energiankulutukselle.

Otaniemen tiedeasunnot on kohtalaisen hyvä malliesimerkki täysverisestä hybridistä, joka käyttää aurinkopaneeleita ja aurinkokeräimiä, maalämpöä sekä kaukolämpöä. Edellisten lisäksi tiedeasunnoissa on jäteveden sekä ilmanvaihdon lämmöntalteenotto. Maalämmön jäähdytysenergia liikutetaan pelkän kiertovesipumpun avulla, niin sanotusti vapaajäähdytteisenä.

Yleisesti hybrideissä, joissa hyödynnetään aurinkoenergiaa lämmityskäyttöön, aurinkoenergia on ensisijainen käyttöveden lämmitysmuoto. Aurinkolämpöä käyttöveden lämmitykseen käytetään lähinnä siksi, koska se on tehokas ja edullinen tapa lämmittää käyttövettä sekä ennen kaikkea uusiutuva energiamuoto. Otaniemen tiedeasuntojen kohdalla silloin kun aurinkolämpöä on saatavilla, mutta lämpimän käyttöveden lämpötila on jo suurin mahdollinen, ylimenevä lämpö pyritään varastoimaan lämmitysvaraajaan. Näin optimoidaan suurin mahdollinen aurinkolämmön hyötykäyttö. Jos aurinkolämmöllä käyttövettä ei saada lämmitettyä tarpeeksi, käyttövettä lämmitetään lisää joko maalämmöllä tai kaukolämmöllä tässä järjestyksessä. Maalämpöä käytetään lämmityk-

sessä ennen kaukolämpöä sen takia, että maalämmöllä lämmittäminen on halvempaa kuin kaukolämmöllä.

Kohteessa on käytössä maalämpö, joka toimii kohteen peruslämpönä, jota kaukolämpö vain tarvittaessa tukee. Maalämmöllä siis ensisijaisesti lämmitetään lämmitysverkoston vettä. Kuten jo edellä todettiin, käyttövedestä ylijäävä aurinkolämmön lämmitysenergia käytetään hyväksi lämmitysvaraajassa. Lämmitysvaraajasta lämpö jaetaan sekä IV-verkostolle että lattialämmitysverkostolle. Kesällä maalämpöpumpun keruupiiristä saadaan jäähdytysenergiaa IV-verkon käyttöön. Lisäksi harmaan jäteveden lämmön talteenotolla esilämmitetään käyttövettä. [35]

9 Hanko, Tehtaanniemen asunnot eli Regatta Suites

Hangon Tehtaanniemeen on suunnitteilla kokonaisuus, johon kuuluu kylpylä ja kolme asuinrakennusta (kuva 15). Asuinrakennukset ovat pienkerrostaloja, jotka on tarkoitettu ympärivuotiseksi vapaa-ajan asunnoiksi. Tämän insinööriyön yhtenä päätarkoituksena on suunnitella edellä mainituille asuinrakennuksille toimiva lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmän kytkentäkaavio (liite 5). Lämmityslaitteistot sijoitetaan yhteen tilaan, josta lämpö kuljetetaan kahteen muuhun asuinrakennukseen ja mahdollisesti myöhemmin myös kylpylään.

Kohteeseen on tällä hetkellä suunnitteilla maalämpö lämpökaivoista otettuna. Haasteena tässä kohteessa on juurikin se, että kolmelle eri rakennukselle pitäisi saada toimiva lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmä yhdellä järjestelmällä. Lisäksi asunnot tulevat olemaan hyvin varusteltuja ja muun muassa sisältävät jäähdytyksen. Ajatuksissa on myös liittää kylpylä maalämpöön. Kylpylän liittäminen toteutuisi, jos meriveden lämmitysjärjestelmäkäyttöön saadaan lupa, näin ollen kohde toimisi myös eräänlaisena pilotina. Tällä hetkellä kylpylä on suunniteltu käyttämään kaukolämpöä.



Kuva 15. Havainnekuva Tehtaanniimestä. [36]

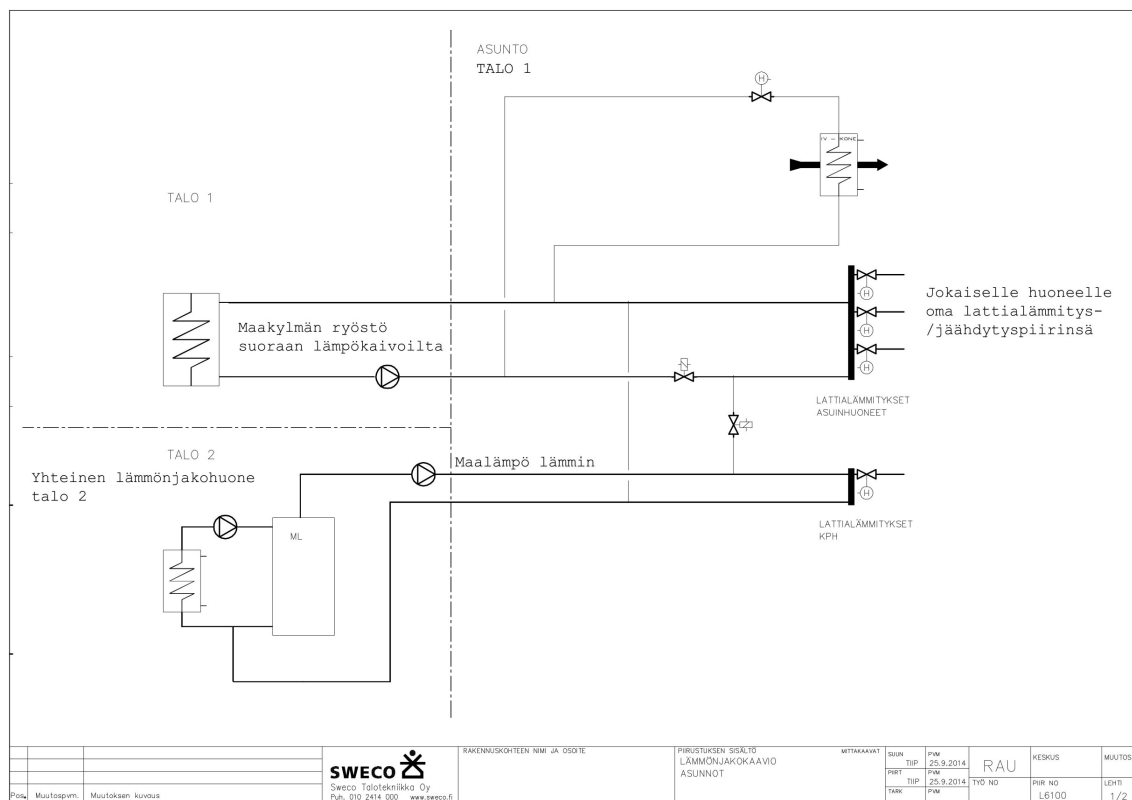
9.1 Lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmän ratkaisut

Lämpökaivojen sijoittelu tontille osoittautui haasteelliseksi heti alussa, koska alueen kallioista osa on suojeltuja eikä niitä voi louhia tai räjäyttää. Tämä estää myös lämpökaivojen porauksen joihinkin osiin tonttia. Lisäksi tontille ei myös haluta mitään ylimääräisiä rakennuksia tai rakenteita. Lopulta lämpökaivot päätettiin sijoittaa rakennusten alle, jolloin maisemaa ei pilata millään ylimääräisillä rakenteilla. Kaivoja porataan siis jokaisen talon alle viisi kappaletta. Lämpökaivojen erillissijoittelu aiheutti seuraavan ongelman. Jos lämpökaivot olisivat kaikissa taloissa, mutta lämmönjakohuone vain yhdessä, pitäisi lämpö- ja jäähdytysputkia kuljettaa edestakaisin talojen välillä. Eli tämä tarkoittaisi useampia pareja putkia.

Tämänhetkisessä ratkaisussa lämpöputket toki joudutaan kierrättämään yhteisen lämmönjakohuoneen kautta, mutta jäähdytykseen keksittiin oma ratkaisunsa, joka ei vaadi ylimääräistä paria putkitusta. Jäähdytysenergia siis otetaan suoraan lämpökaivoilta, ilman ylimääräisiä lenkkejä. Jokaisessa rakennuksessa on oma jäähdytyspiirinsä pumppuineen ja lämmönsiirtimineen. Lämmityksen peittoaste maalämmöllä on noin 95 %, jonka lisäksi lämmitykseen tarvittiin vielä sähkökattila.

Huoneistoihin on tarkoitus tulla lattialämmitys kaikkialle, tämän lisäksi lattian kautta viilennetään muita tiloja paitsi kylpyhuonetta, jossa kesälläkin täytyy olla mukavuus-

lämpö lattiassa tilojen paremman kuivumisen ja miellyttävyyden kannalta. IV-koneella puolestaan lisälämmitetään tai viilennetään ilmaa. IV-koneen ilman viilennys tapahtuu maajäähdytyksen avulla, kun taas ilman lämmitys tapahtuu sähköisillä lämmityspattereilla. Tämän lisäksi asuntoihin on saatavilla puhallinkonvektorit, asukkaan niin halutessa, lisäviilennystä varten. Oheisessa kuvassa 16 on esitetty yksinkertaistettuna asuntojen lämmitys- ja jäähdytyspiirien kaavio ja toimintaperiaate.



Kuva 16. Huoneistojen lämmön- ja jäähdytyksenjakokaavio.

9.2 Projekti elää

Vaikka kyseessä nyt ei olekaan varsinainen hybridilämmitys- ja jäähdytysjärjestelmä, niin voi olla, että projektin edetessä ja lupa-asioiden edistyessä, tällä hetkellä erilliset kylpylän ja asuinrakennusten lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmät menevät kokonaan uusiksi. Jos merivettä saa luvan käyttää lämmitykseen ja jäähdytykseen, myös kylpylän lämmitysjärjestelmä vaihdetaan pelkästään kaukolämpöä käyttävästä ainakin osittain maalämpöön. Kylpylän ja asuntojen lämmitysjärjestelmän yhdistäminen toisi uusia mahdollisuuksia ylimääräisen lämmön kierrättämiseen. Esimerkiksi asuntojen ylimääräistä lämpöä voisi käyttää uima-altaiden lämmitykseen.

10 Yhteenveto

Tässä työssä perehdyttiin laajasti lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmien eri osiin. Koska hybridijärjestelmistä suurissa kohteissa ei juuri ole yhteen koottua tietoa, haluttiin niistä koota jonkinlainen kattava kokonaisuus eli toisin sanoen tämä insinöörityö. Erilaisia hybridijärjestelmiä käsitellään kattavasti erilaisten esimerkkien avulla ja niitä verrataan yleisempiin lämmitysjärjestelmiin.

Hybridilämmön- ja jäähdytyksenjakokaavion tekeminen muuttui sopivan projektin puuttuessa pelkäsi uusiutuvia energiavaroja käyttävän lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmän kaavioksi. Tämä kuitenkin ideologialtaan sopi hyvin aiheeseen, koska hybridijärjestelmienkin tarkoituksena on uusiutuvien energiamuotojen käyttäminen lisääntyvissä määrin rakennusten lämmönlähteenä.

Valitettavasti insinöörityön aikataulu ei sallinut projektin loppuunsaattamista, joten tämän työn päättyessä ja projektin edelleen jatkuessa jää epäselväksi, minkälainen lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmä kohteeseen loppujen lopuksi tulee. On mahdollista, että tämänhetkinen pelkkä maalämpöjärjestelmä muuttuukin vielä projektin kuluessa hybridijärjestelmäksi tai ainakin hyvin monimutkaiseksi maalämpöjärjestelmäksi.

Myös alkuperäinen idea kulutusten seuraamisesta ja järjestelmän optimoinnista olisi ollut mielenkiintoinen toteuttaa. Edellä mainittuun kuitenkin tarvitsisi huomattavan pitkän seurantajakson ja erityisesti sopivan seurantakohteen. Toisaalta aihe olisi ollut ehkä parempi jopa diplomityö- tai YAMK-työaiheeksi.

Lähteet

- 1 Jussi Alilehto projektipäällikkö (ja Maija Wallenius suunnittelupäällikkö), Sweco Talotekniikka Oy, Espoo, Keskustelut välillä 8.4. - 14.10.2014
- 2 Rakennusautomaatiojärjestelmät - ST-käsikirja 17. 2013. Espoo: Sähköinfo Oy
- 3 Kiinteistöjen valvomojärjestelmät - ST-käsikirja 22. 2008. Espoo: Sähköinfo Oy
- 4 Sisäilmastoluokitus 2008. RT 07-10946. Rakennustietosäätiö RTS 2012.
- 5 Olli Seppänen, Ilmastointitekniikka ja sisäilmasto, 2008. Helsinki. Suomen LVI-liitto ry
- 6 Suomen rakentamismääräyskokoelma D1, 2007. Verkkodokumentti.
<http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma> Luettu 28.4.2014
- 7 Rakennusten lämmitysjärjestelmät. 2007. Helsinki: Rakennustieto Oy
- 8 Energian hankinta ja kulutus 2012. Verkkodokumentti. 27.8.2014
<http://www.motiva.fi/taustatietoa/energian kaytto_suomessa/energian_loppuka_lopp> Luettu 27.8.2014
- 9 Kaukolämmitys. Verkkodokumentti.
<energia.fi/koti-ja-lammitys/kaukolampo> Luettu 9.4.2014
- 10 Kaukolämpö. Verkkodokumentti.
<energia.fi/energia-ja-ymparisto/kaukolampo-ja-kaukojaahdytys/tuotanto-ja-polttoaineet> Luettu 9.4.2014
- 11 Energiavuosi 2013 Kaukolämpö. Verkkodokumentti.
<energia.fi/tilastot-ja-julkaisut> Luettu 10.4.2014
- 12 Sähkölämmitys Lämpöpumput. Verkkodokumentti.
<energia.fi/koti-ja-lammitys/sahkolammitys/lampopumput> Luettu 9.4.2014
- 13 Ilmalämpöpumppu tukilämmityslähteenä. Verkkodokumentti.
<http://www.motiva.fi/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/eri_lammitys_muodot/ilmalampopumppu_tukilammityslahteenä> Luettu 9.4.2014

- 14 Maalämpöpumppu. Verkkodokumentti.
<http://www.motiva.fi/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/eri_lammitys_muodot/maalampopumppu> Luettu 9.4.2014
- 15 Ilma-vesilämpöpumppu. Verkkodokumentti.
<http://www.motiva.fi/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/eri_lammitys_muodot/ilma-vesilampopumppu> Luettu 9.4.2014
- 16 Lämpöä ilmassa: Lämmitysjärjestelmät ilmalämpöpumput. Verkkodokumentti.
<<http://motiva.fi/files/175/Ilmalampopumput.pdf>> Luettu 20.5.2014
- 17 Poistoilmalämpöpumppu. Verkkodokumentti.
<http://www.motiva.fi/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/eri_lammitys_muodot/poistoilmalampopumppu> Luettu 9.4.2014
- 18 Kiinteistöautomaation opiskelumateriaali. Toivo Sahlstén.
- 19 Lähienergiaratkaisut. Verkkodokumentti.
<http://www.lut.fi/documents/10633/333534/Koja_Antti_H%C3%A4nninen_L%C3%A4hienergiaratkaisut.pdf/b3e7c159-a423-42ae-85b1-826d0908a84e> Luettu 22.7.2014
- 20 Öljylämmitys. Verkkodokumentti.
<http://www.motiva.fi/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/eri_lammitys_muodot/oljylammitys> Luettu 9.4.2014
- 21 Maakaasu. Verkkodokumentti.
<http://motiva.fi/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/eri_lammitysmuodot/maakaasu> Luettu 10.10.2014
- 22 Pientalon lämmitysjärjestelmät. Verkkodokumentti.
<http://motiva.fi/files/7201/Pientalon_lammitysjarjestelmat_2012.pdf> Luettu 10.10.2014
- 23 Pellettilämmitys. Verkkodokumentti.
<http://motiva.fi/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/eri_lammitysmuodot/pellettilammitys> Luettu 10.10.2014
- 24 Hake-, pilke- ja halkokattilat. Verkkodokumentti.
<http://motiva.fi/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/eri_lammitysmuodot/hake-_pilke-_ja_halkokattilat> Luettu 10.10.2014
- 25 Bruno Erat ym. 2008. Aurinko-opas - Aurinkoenergiaa rakennuksiin. Porvoo: Aurinkoteknillinen Yhdistys ry – Soltekniska Föreningen rf

- 26 Kaukojäähdytys. Verkkodokumentti.
<<http://energia.fi/energia-ja-ymparisto/kaukolampo-ja-kaukojaahdytys/kaukojaahdytys>> Luettu 10.4.2014
- 27 Antero Aittamäki (toim.), Kylmätekniikka, 2012. Helsinki: Suomen kylmäyhdistys ry.
- 28 Taneli Timlin. 2014. Lähienenergiatekniikan kiinteistöjen energiavirtoja kierrättämällä. Diplomityö
- 29 Suomen luontokeskus Haltia. Verkkodokumentti.
<<http://www.haltia.com/haltia-suomen-luontokeskus/ekoteknologia/lammitys-ja-jaahdytys/>> Luettu 30.4.2014
- 30 Suomen luontokeskus Haltia. Verkkodokumentti (kuvapankin kuva).
<<http://www.haltia.com/media/aineistopankki/valokuvat-haltiaasta/>> Kuva kopioitu 3.9.2014
- 31 Otaniemen tiedeasunnot (Tutkijahotelli). Verkkodokumentti (Energiakortti pdf).
<http://www.espoo.fi/fi-FI/Asuminen_ja_ymparisto/Ymparisto_ja_luonto/Energia_ja_ilmasto/Energiatehokkuus> Luettu 30.4.2014
- 32 Järvenpää mestariasunnot: Nollaenergiatalo. Verkkodokumentti.
<<http://85.76.242.3/NuukaUtils/nuukaroot/forms/tailored/Jarvenpaa.aspx>> Luettu 30.4.2014, kuvat & taulukot kaapattu 11.8.2014
- 33 Espoonlahden koulu ja lukio & Suurpellon päiväkoti. Verkkodokumentti (Energiakortti pdf). < http://www.espoo.fi/fi-FI/Asuminen_ja_ymparisto/Ymparisto_ja_luonto/Energia_ja_ilmasto/Energiatehokkuus> Luettu 30.4.2014
- 34 Turun kaupunginteatteri ja ABC Teivo. Sweco Talotekniikan suunnitelma-arkisto.
- 35 KOY Otaniemen Tiedeasunnot. Sweco Talotekniikan suunnitelma-arkisto.
- 36 Regatta Resorts. Verkkodokumentti.
<<http://www.regattaresorts.fi/asunnot.html>> Kaapattu 4.9.2014

Järvenpään Mestariasunnot Nollaenergiatalon tuotto- ja kulutustaulukko

Energialaji	tamm-14	helm-14	maalis-14	huhti-14	touko-14	kesä-14	heinä-14	elo-13	syys-13	loka-13	marras-13	joulu-13	Yhteensä
1: Kiinteistön tuottama energia (kWh)													
Aurinkolämpö	220	220	4 290	7 090	6 050	5 620	8 880	7 250	4 510	2 600	430	90	47 260
Geoterminen energia, lämpö	7 434	7 169	8 975	9 537	9 348	9 303	6 065	5 428	5 553	6 714	5 654	6 101	87 285
Geoterminen energia, viilen...	0	0	0	1 336	10 704	4 657	9 294	0	0	0	0	0	25 991
Aurinkosähkö	21	56	766	1 202	1 153	1 046	1 404	1 310	767	496	110	34	8 534
Hissin jarrutusenergia	24	19	25	25	27	26	723	25	23	25	21	28	990
2: Ostettu energia (kWh)	7 699	7 463	14 055	19 271	27 301	20 653	26 449	14 012	10 854	9 835	6 215	6 253	170 060
3: Kiinteistön tuotosta ulos myytävä energia (kWh)													
Kaukolämpö	24 901	12 778	6 046	3 349	2 702	1 353	219	2 434	5 019	10 991	10 136	16 362	96 290
Kiinteistösähkö	8 476	7 513	8 245	7 527	7 420	7 376	6 075	6 022	6 460	7 408	6 541	8 343	87 405
3: Kiinteistön tuotosta ulos myytävä energia (kWh)	33 377	20 291	14 291	10 876	10 122	8 729	6 294	8 456	11 479	18 399	16 677	24 705	183 695
Myyty sähkö	0	0	1	/	15	13	41	44	13	1	0	0	135
Myyty lämpö	7 461	7 180	6 721	8 296	7 723	7 581	6 703	6 702	6 222	6 956	5 680	6 102	83 330
4: Vuostase (kWh)	7 461	7 180	6 722	8 303	7 738	7 597	6 744	6 746	6 235	6 957	5 680	6 102	83 465
Kokonaislämpöenergia	7 654	7 389	13 265	16 627	15 408	14 923	14 949	12 678	10 063	9 314	6 084	6 191	134 545
Kokonais sähköenergia	-8 431	-7 438	-7 454	-4 883	4 473	-1 647	5 425	-4 688	-5 669	-6 887	-6 410	-8 281	-51 891
5: Vedenkulutus (m3)	-777	-49	5 811	11 744	19 881	13 276	20 374	7 990	4 394	2 427	-326	-2 090	82 654
Kokonaisvedenkulutus	186	171	197	191	180	172	187	184	187	195	158	211	2 219
6: Kiinteistön kuluttama energia (kWh)	186	171	197	191	180	172	187	184	187	195	158	211	2 219
Kokonais sähköenergia	8 520	7 587	9 035	8 834	8 609	8 449	8 281	7 357	7 251	7 929	6 672	8 404	96 929
Lämmön käyttövesi	4 111	3 893	4 468	4 350	3 980	3 888	4 192	2 133	4 074	4 321	3 519	4 670	47 599
Lämmitys	18 341	6 841	6 367	4 125	2 634	2 279	382	308	1 750	6 416	5 074	9 196	63 733
	30 977	18 371	19 890	17 309	15 774	14 616	17 855	9 798	13 075	18 666	15 265	77 771	708 761

Suurpellon päiväkodin energiakortti



ENERGIAKORTTI



Suurpellon päiväkoti



Kohteen nimi	Suurpellon päiväkoti
Katuosoite	Poppelikuja 4, 02200 Espoo
Valmistumisvuosi	2013
Kiinteistötunnus	49-21-038-6
Rakentamisaika	01/2012 - 05/2013
Bruttoala	1495 brm ²
Kerrosluke	1-2 + parvi
Energiatohokkuusluokka suunnitteluvaiheessa	ET A (< 120 kWh/brm ²)
Energiatohokkuusluokka käyttövaiheessa	ET

Ympäristö- ja energiatavoitteet

Tavoitteena on elinkaariedullinen ja energiatehokas rakennus, passiivitalo. Rakennuksen energiankulutus on noin 29 % vastaavan normitalon* energiankulutukseen verrattuna.

Ratkaisut ja uusiutuvan energian käyttö

- Tavoitteisiin pyritään arkkitehtonisin ratkaisuin, hyvällä lämmöneristävyydellä ja tiiveydellä, ilmanvaihdon energiatehokkuudella, tehokkaalla lämmöntalteenotolla sekä suunnitelmalla kiinteistö helposti huolettavaksi ja ylläpidettäväksi.
- Energian ja veden kulutusmittaukset suunnitellaan kiinteistöpalvelukeskuksen tekemän ohjeen mukaan.
- LVIA -laitteiden suunnittelussa pyritään vettä säästäviin ja sähkötehokkaisiin ratkaisuihin.
- Geoenergia: Alustavan arvion mukaan porareikien määrä on 15 kappaletta, reikien syvyyden ollessa n.180m.
 - o Keittiö ja neuvolan sekä mahdolliset muut ylälämpöiset tilat jäähdytetään geoenergialla.
 - o Rakennuksen lämmitys toteutetaan lämpöpumpulla, joka käyttää lämmönlähteenä kallioon kertyvää lauhdelämpöä ja kalliolämpöä. Lämmitysenergiaa voidaan hyödyntää hyvällä hyötysuhteella matalalämpöisenä sekä tuloilman että lattioiden lämmitykseen. Lattiaviilennystä voidaan myös toteuttaa tiloissa joissa on ylälämpöongelmia kesäisin.

Opit ja oivallukset

Tavoitteena on arvioida passiivitalotavoitteen toteutusmahdollisuuksia ja osoittaa eri suunnitteluratkaisujen vaikutus lämmitysenergiatarpeeseen.

Tavoitteena on myös, että tämän rakentamiskohteen kautta saatavat käyttökokemukset avaavat mahdollisuuden kallioenergiaa ja lauhdelämpöä hyödyntävän yhdistetyn lämmitys-/jäähdytysratkaisun tuotteistamiselle ja laajemmalle hyödyntämiselle myös muissa vastaavissa kohteissa.

Espoonlahden koulun ja lukion energiakortti



ENERGIAKORTTI



Espoonlahden koulu ja lukio



Kohteen nimi	Espoonlahden koulu ja lukio
Katuosoite	Opettajantie 3, 02070 Espoo
Valmistumisvuosi	1975
Kiinteistötunnus	49-34-200-11-2
Peruskorjaus	6/2012 - 12/2013
Bruttoala	10 558 brm ² (?)
Kerrosalu	
Energiatohokkuusluokka suunnitteluvaiheessa	ET A (<120 kWh/brm ²)
Energiatohokkuusluokka käyttövaiheessa	ET

Ympäristö- ja energiatavoitteet

Peruskorjauksen tavoitteena on elinkaariedullinen ja energiatehokas rakennus. Kohteessa tavoitellaan lämmitysenergiankulutuksen osalta 50 % vähennystä ja sähköenergiankulutuksen osalta 15 % vähennystä kohteen nykytasoon verrattuna. NCC toteuttaa Espoonlahden koulun ja lukion elinkaarihankkeena. Osana sopimusta on sitouduttu tuottamaan 25 %:n kohteen lämmitysenergiantarpeesta (standardikäytön mukainen) maalämmöllä. Lisäksi katolle asennetaan 80 m² aurinkopaneeleita.

Ratkaisut ja uusiutuvan energian käyttö

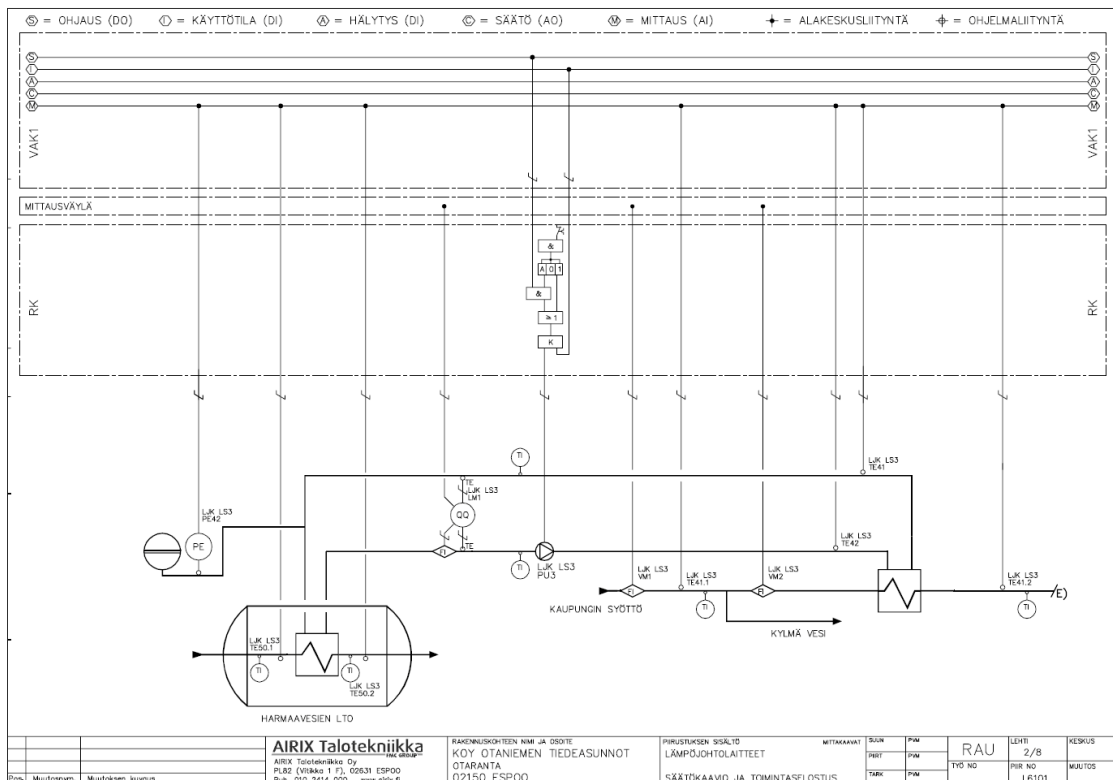
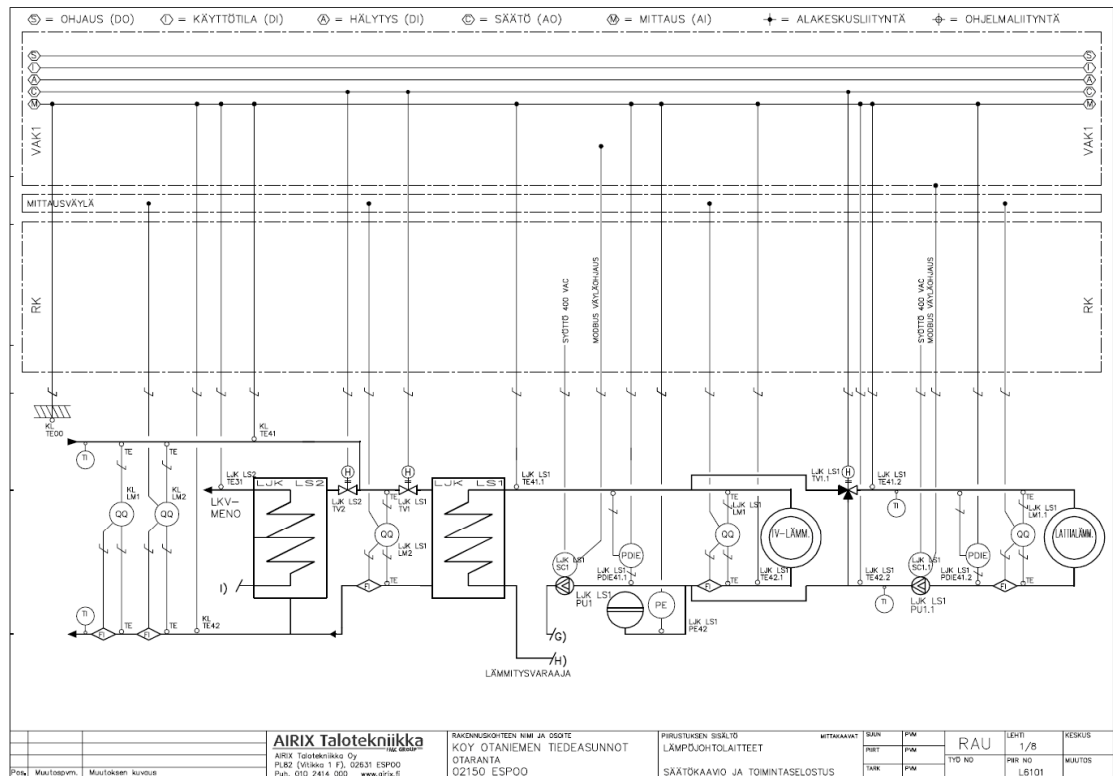
Tavoite toteutetaan arkkitehtonisin ratkaisuin, tehokkaalla tilankäytöllä, hyvällä lämmöneristävyydellä ja rakennuksen tiiveydellä sekä ilmanvaihdon energiatehokkuudella.

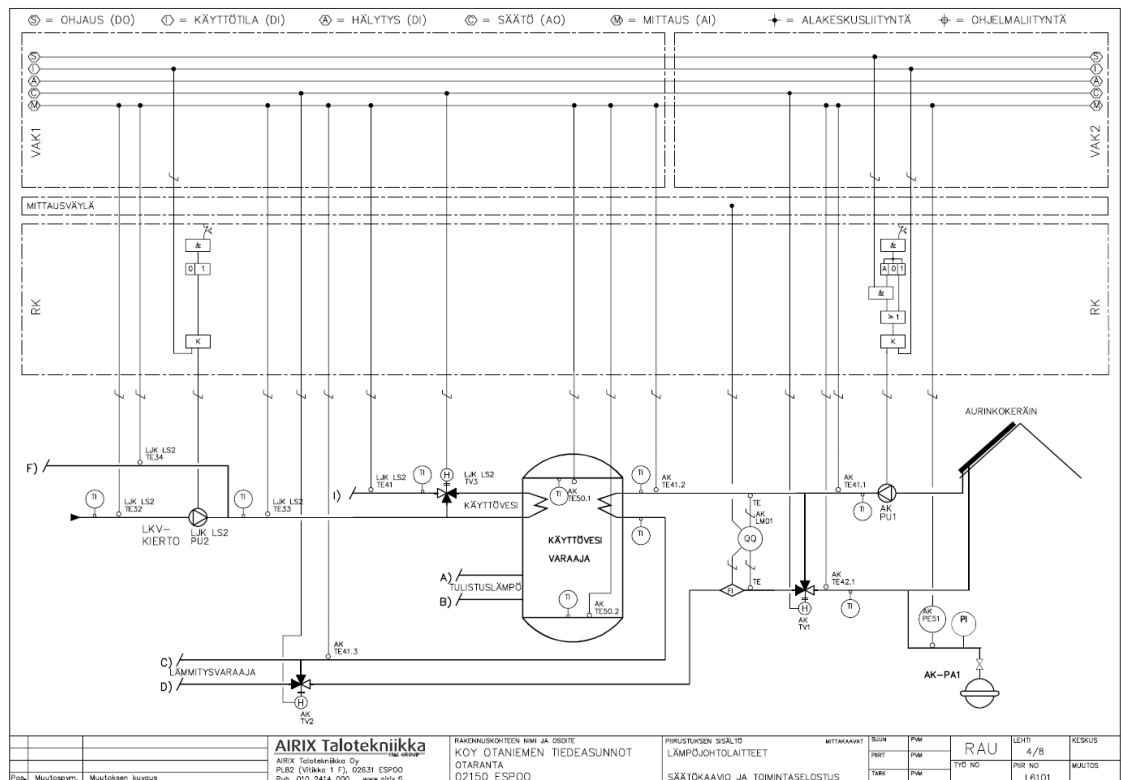
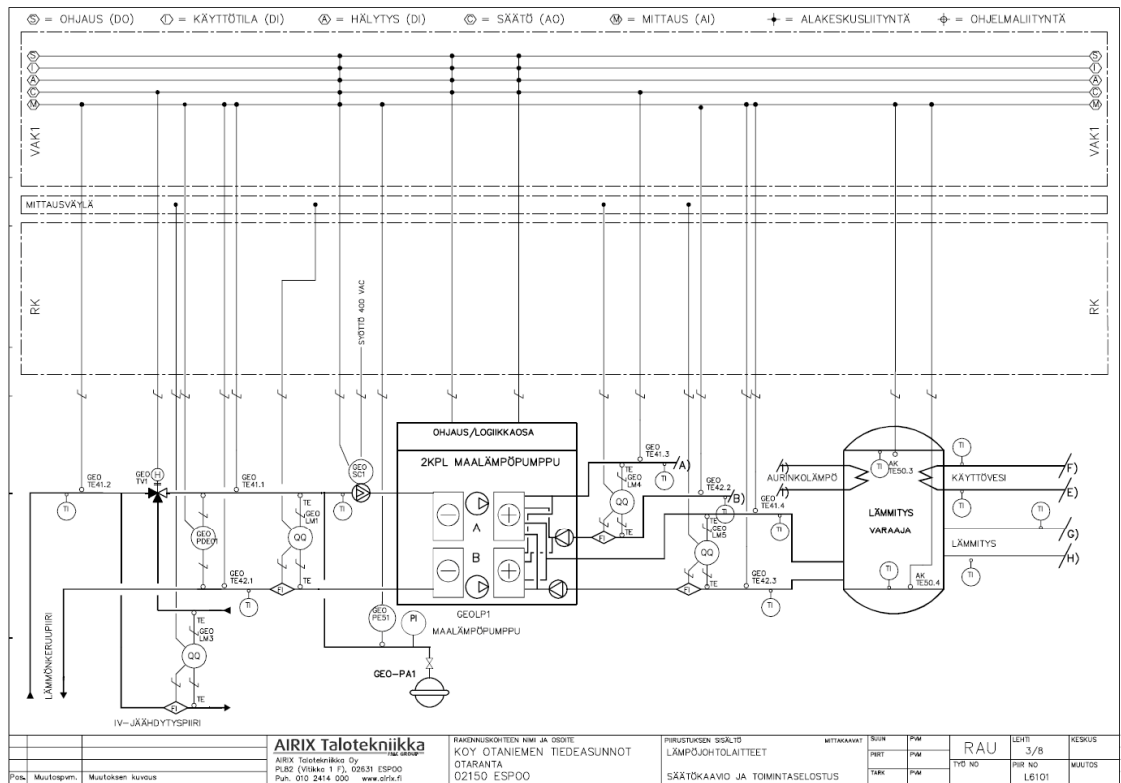
- Energiatohokkuutta parannetaan uusimalla ulkovaipan rakenteiden lämmöneristystaso vastaamaan v. 2010 voimaan astuneita lämmöneristysmääräyksiä.
- Rakennuksen nykyistä kokonaisenergiatohokkuutta, (luokka D, 191 < ET < 230 kWh/brm²/v), parannetaan tiivistämällä ulko-vaippa, sekä nykyaikaistamalla talotekniikka.
- Geoenergiaa käytetään rakennuksen lämmittämiseen, sekä jäähdytystä vaativien tilojen jäähdytykseen. Tehtyjen tarkastelujen perusteella kohteeseen tarvitaan noin 37 kW:n maalämpöpumppu, jotta tarvittava energiamäärä pystytään tuottamaan. Tässä edellytyksenä on, että maalämpö toimii aina ensisijaisena lämmitysmuotona tilojen ja ilmanvaihdon osalta sekä käyttöveden esilämmityksessä. Kyseinen järjestelmä tarvitsee toimiakseen 12 kappaletta noin 200 metriä syviä lämpökaivoja.
- Aurinkoenergiaa hyödynnetään aurinkopaneelien avulla.

Opit ja oivallukset

Espoonlahden koulu ja lukio on ensimmäinen Espoon kaupungin energiatohokkuussopimuksen (KETS) säästöjen toteuttamiseen tähtäävä peruskorjauskohde.

Otaniemen tiedeasunnot lämmitys- ja jäähdytyskätkökaavio





Regatta Suites lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmän kytkentäkaavio

